

**ANÁLISIS ESPACIO – TEMPORAL DE PARÁMETROS BIOFÍSICOS
EN EL ESTADO ARAGUA USANDO IMÁGENES SATELITALES**



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



ANÁLISIS ESPACIO – TEMPORAL DE PARÁMETROS BIOFÍSICOS EN EL ESTADO ARAGUA USANDO IMÁGENES SATELITALES

AUTOR: Ing. Bracho, Lully.

TUTORA: Ph.D. Adriana Márquez

Naguanagua, 28 de Julio de 2019



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE ESTUDIOS PARA GRADUADOS
MAESTRÍA INGENIERÍA AMBIENTAL



ANÁLISIS ESPACIO – TEMPORAL DE PARÁMETROS BIOFÍSICOS EN EL ESTADO ARAGUA USANDO IMÁGENES SATELITALES

Trabajo de Grado presentado ante el área de Estudios de Postgrados de la Universidad de Carabobo para optar al título de Magister en Ingeniería Ambiental

Autor: Ing. Bracho Lully

NAGUANAGUA, 28 DE JULIO DE 2019



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE ESTUDIOS PARA GRADUADOS
SECCIÓN DE GRADO



ACTA DE DISCUSIÓN DE TRABAJO DE GRADO

En atención a lo dispuesto en los Artículos 137, 138 y 139 del reglamento de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo, quienes suscribimos como Jurado Designado por el Consejo de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a lo previsto en el Artículo 135 del citado Reglamento, para estudiar el Trabajo de Grado Titulado:

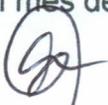
“ANÁLISIS ESPACIO – TEMPORAL DE PARÁMETROS BIOFÍSICOS EN EL ESTADO ARAGUA USANDO IMÁGENES SATELITALES”

Presentado para optar al grado de **MAGÍSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL** por el aspirante:

LUILLY JOSÉ BRACHO VILLAFANA
V-17.905.533

Habiendo examinado el Trabajo presentado, decidimos que el mismo está **APROBADO**.

En Valencia, a los treinta (30) días del mes de Julio del año dos mil diecinueve.


Prof. Adriana Márquez
C.I.: 12604007
Fecha: 30/07/2019


Prof. Bettys Fariás
C.I.: 8359034
Fecha: 30/07/2019


Prof. Estefanía Freytez
C.I.: 15667469
Fecha: 30/07/2019

DEDICATORIA

Dedicado a Dios por darme la Vida y un propósito para cada paso que doy.

A mis Padres Yomaira y Romer, por hacer de mí el hombre que soy hoy.

A mi hijo Fabián, para que sirva de ejemplo para alcanzar sus sueños.

A Naimelys por ser mi compañera desde el primer día de este camino.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de disfrutar de salud y vida para culminar esta etapa en mi vida, por darme una familia y rodearme de personas que me apoyan y me hacen seguir adelante.

A la Prof. Adriana Marquéz, por ser tutora, conocimiento y guía durante el desarrollo de la maestría. Al resto de los Profesores gracias por su granito de arena en cada etapa de este proceso.

A Naimelys por apoyarme, acompañarme y ser el impulso que necesite cada vez que quería desistir, aun en la distancia sigues estando allí.

A mi Familia y mi hijo por ser parte de cada etapa de mi vida.

A la Universidad de Carabobo y la Facultad de Ingeniería por haberme cedido sus espacios para crecer como profesional en toda mi vida académica.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE ESTUDIOS PARA GRADUADOS
MAESTRÍA INGENIERÍA AMBIENTAL



“ANÁLISIS ESPACIO – TEMPORAL DE PARÁMETROS BIOFÍSICOS EN EL ESTADO ARAGUA USANDO IMÁGENES SATELITALES”

Autor: Bracho, Lully. // **Tutora:** Dra. Adriana Márquez // **Año:** 2019

RESUMEN

El estudio de diferentes parámetros obtenidos a partir de imágenes satelitales a través de los SIG mejora la evaluación espacio – temporal de áreas a nivel local, regional, nacional o global en menor tiempo. El Estado Aragua, como entidad importante de Venezuela por sus cercanías con la Región Capital y su crecimiento urbanístico acelerado es un tópico de interés. Los parámetros biofísicos obtenidos a partir del análisis de imágenes satelitales, de la colección de imágenes de los satélites Landsat, disponibles en el portal web del Earth Explorer (USGS), se generaron 4 imágenes del Estado Aragua correspondientes a los años 1990, 2001, 2015 y 2018 respectivamente. Mediante una metodología descriptiva, no experimental se seleccionaron y descargaron las imágenes a utilizar, Con una población de 305 imágenes para él área de estudio, por muestreo aleatorio de acuerdo a la disposición de imágenes con baja nubosidad, se seleccionaron 4. El procesamiento preliminar consistió en el Stack; la extracción de la sub-escena a utilizar (Subset) y la corrección atmosférica (ATCOR). La clasificación de acuerdo a la cobertura del suelo arrojó un crecimiento constante de las zonas urbanas desde 1990 hasta 2018, así como la disminución de los cuerpos de agua y las zonas con vegetación. Se estimaron los índices de vegetación NDVI, SAVI y LAI los cuales no tuvieron desviaciones muy significativas debido a que la media en las gráficas estadísticas se mantiene solapadas, manteniendo en líneas generales una vegetación de baja a media en todo el territorio del estado Aragua, mientras que se pudo determinar que las zonas con mayor potencial por tener mejores condiciones de vegetación son la cordillera de la costa y zonas cercanas al lago de Valencia.

Palabras Clave: SIG, Satélites Landsat, Parámetros Biofísicos.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE ESTUDIOS PARA GRADUADOS
MAESTRÍA INGENIERÍA AMBIENTAL



“SPACE ANALYSIS - TEMPORARY BIOPHYSICAL PARAMETERS IN THE ARAGUA STATE USING SATELLITE IMAGES”

Autor: Bracho, Lully. // **Tutora:** Dra. Adriana Márquez // **Año:** 2019

ABSTRACT

The study of different parameters obtained from satellite images through GIS improves the space - time evaluation of areas at local, regional, national or global level in less time. The Aragua State, as an important entity of Venezuela because of its proximity to the Capital Region and its accelerated urban growth is a topic of interest. The biophysical parameters obtained from the analysis of satellite images, from the Landsat satellite image collection, available on the Earth Explorer web portal (USGS), generated 4 images of the Aragua State corresponding to the years 1990, 2001, 2015 and 2018 respectively. Using a descriptive, non-experimental methodology, the images to be used were selected and downloaded. With a population of 305 images for the study area, by random sampling according to the arrangement of images with low cloudiness, 4 were selected. The preliminary processing consisted of in the Stack; the extraction of the sub-scene to be used (Subset) and atmospheric correction (ATCOR). The classification according to the land cover showed a constant growth of urban areas from 1990 to 2018, as well as the decrease of water bodies and areas with vegetation. Vegetation indices NDVI, SAVI and LAI were estimated, which did not have very significant deviations due to the fact that the average in the statistical graphs is overlapping, maintaining in general lines a low to medium vegetation throughout the territory of the Aragua state, while It was determined that the areas with the greatest potential for better vegetation conditions are the coastal mountain range and areas near the lake of Valencia.

Keywords: GIS, Landsat Satellites, Biophysical Parameters.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|------------------------------------|------|
| Dedicatoria | iii |
| Agradecimientos | iv |
| Resumen | v |
| Abstract | vi |
| Índice General | vii |
| Índice de Gráficos | ix |
| Índice de Tablas | xi |
| Introducción | 1 |
| | |
| CAPITULO I: El Problema | |
| Planteamiento del Problema | 3 |
| Formulación del Problema | 5 |
| Objetivos de la Investigación | 6 |
| Justificación de la Investigación | 6 |
| Alcances y Limitaciones | 8 |
| | |
| CAPITULO II: Marco Teórico. | |
| Antecedentes de la Investigación | 9 |
| Bases Teóricas | 11 |
| Marco Legal | 27 |

| | |
|--|----|
| Definición de Términos | 32 |
| | |
| CAPITULO III: Marco Metodológico | |
| Naturaleza de la Investigación | 34 |
| Tipo de Investigación | 34 |
| Diseño de la Investigación | 35 |
| Población y Muestra | 37 |
| Fases de la Investigación | 39 |
| | |
| CAPITULO IV: Análisis e Interpretación de los Resultados | |
| Seleccionar imágenes satelitales para el estudio. | 41 |
| Realizar el procesamiento preliminar de las imágenes satelitales a usar en el estudio. | 45 |
| Estimar índices de vegetación en la escala Espacio-Temporal usando imágenes satelitales del Estado Aragua. | 49 |
| Elaborar mapas de clasificación de usos y cobertura terrestre del Estado Aragua. | 56 |
| Análisis espacio – temporal de parámetros biofísicos en el estado Aragua usando imágenes satelitales. | 62 |
| | |
| CAPITULO V: Conclusiones y Recomendaciones. | |
| Conclusiones | 68 |
| Recomendaciones | 69 |
| Referencias Bibliográficas | 70 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura N° 1: Sistema de referencia mundial descendente WRS-2. | 13 |
| Figura N° 2: Balance de energía superficial. | 18 |
| Figura N° 3: Portal Web USGS para descarga de imágenes. | 41 |
| Figura N° 4: Imagen Landsat (L5) del 09/04/1990, Path 04, Row 53. | 42 |
| Figura N° 5: Imagen Landsat (L5) del 18/02/2001, Path 04, Row 53. | 42 |
| Figura N° 6: Imagen Landsat (L8) del 30/Abril/2015, Path 04, Row 53. | 43 |
| Figura N° 7: Imagen Landsat (L8) del 15/Octubre/2018, Path 04, Row 53. | 43 |
| Figura N° 8: Pre-procesamiento Layer Stack en ERDAS Imagine 2014. | 45 |
| Figura N° 9: Pre-procesamiento Create Subset en ERDAS Imagine 2014. | 46 |
| Figura N° 10: Pre-procesamiento ATCOR en ERDAS Imagine 2014. | 47 |
| Figura N° 11: Pre-Procesamiento Export-Data en ERDAS Imagine 2014. | 47 |
| Figura N° 12: Bandas Roja e IR de Imagen Landsat 8 - Año 2015. | 49 |
| Figura N° 13: Mapas del Estado Aragua - Índice de Vegetación (NDVI) para los Años 1990, 2001, 2015 y 2018. | 50 |
| Figura N° 14: Mapas del Estado Aragua - Índice de Vegetación (SAVI) para los Años 1990, 2001, 2015 y 2018. | 52 |
| Figura N° 15: Mapas del Estado Aragua - Índice de Vegetación (LAI) para los Años 1990, 2001, 2015 y 2018. | 54 |
| Figura N° 16: Variación en los Usos de la Tierra en el Estado Aragua para los Años 1990, 2001, 2015 y 2018. | 57 |
| Figura N° 17: Mapa de Usos de la Tierra, Estado Aragua para el Año 1990. | 58 |
| Figura N° 18: Mapa de Usos de la Tierra, Estado Aragua para el Año 2001. | 59 |

| | |
|---|----|
| Figura N° 19: Mapa de Usos de la Tierra, Estado Aragua para el Año 2015. | 60 |
| Figura N° 20: Mapa de Usos de la Tierra, Estado Aragua para el Año 2018. | 61 |
| Figura N° 21: Mapa de distribución de puntos de muestreo del Estado Aragua mediante modelo Shapefile de Puntos (49 Puntos). | 63 |
| Figura N° 22: Gráfica Estadística de Cajas y Bigotes para NDVI del Estado Aragua (1990-2018). <u>Fuente:</u> Statgraphics Centurion XV.I | 64 |
| Figura N° 23: Gráfica Estadística de Cajas y Bigotes para SAVI del Estado Aragua (1990-2018). <u>Fuente:</u> Statgraphics Centurion XV.I | 65 |
| Figura N° 24: Gráfica Estadística de Cajas y Bigotes para LAI del Estado Aragua (1990-2018). <u>Fuente:</u> Statgraphics Centurion XV.I | 67 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1: Descripción de los satélites Landsat | 12 |
| Tabla 2: Población asociada a imágenes satelitales disponibles del estado Carabobo durante los años 1975-2018. | 37 |
| Tabla 3: Relación Población/Muestra asociada a imágenes satelitales disponibles del estado Carabobo durante los años 1990-2018. | 38 |
| Tabla 4: Muestra de imágenes satelitales seleccionadas y descargadas del estado Aragua. | 44 |
| Tabla 5: Avance de procesamiento preliminar de imágenes seleccionadas para el estudio. | 48 |
| Tabla 6: Distribución por Área de la Clasificación por Usos de la Tierra desde 1990 a 2018, según los años de estudio en el Estado Aragua – Venezuela. | 56 |
| Tabla 7: Resumen Estadístico para NDVI Estimado por Puntos de Muestreo del Estado Aragua en los Años 1990, 2001, 2015 y 2018. | 65 |
| Tabla 8: Resumen Estadístico para SAVI Estimado por Puntos de Muestreo del Estado Aragua en los Años 1990, 2001, 2015 y 2018. | 66 |
| Tabla 9: Resumen Estadístico para LAI Estimado por Puntos de Muestreo del Estado Aragua en los Años 1990, 2001, 2015 y 2018. | 66 |

INTRODUCCIÓN

La vegetación es un importante indicador para evaluar diferentes procesos biofísicos en los ecosistemas; como por ejemplo los fenómenos relacionados a la pérdida de biodiversidad, desertificación, relación entre la vegetación y erosión del suelo e interacción vegetación-clima. La teledetección ha sido utilizada como valiosa herramienta y determinante a la hora de establecer indicadores de degradación y conservación de los recursos naturales, de manera especial en evaluar dinámicas en los cambios de usos de suelo y coberturas vegetales. Un aporte destacado de la teledetección espacial al estudio medioambiental es su capacidad de seguir procesos dinámicos ya que las imágenes se captan por un sensor que observa la tierra desde una órbita estable y repetitiva (Chuvienco, 1998).

La aplicación de la teledetección es posible gracias a la interacción de la energía electromagnética con las cubiertas terrestres que tienen un comportamiento reflectivo variable, condicionado por su estado al momento de la adquisición de la imagen (Pérez y Muñoz, 2006). Debido a las características multiespectrales y multitemporales de los datos satelitales, resulta posible la diferenciación de tipos de cobertura vegetal. Entre las técnicas derivadas del uso de datos satelitales multiespectrales, se destacan el empleo de los índices de vegetación y los usos de la tierra. Los índices de vegetación son transformaciones que implican efectuar una combinación matemática, entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen. (Esperanza y Zerda, 2002). Estos índices están condicionados por cambios en el estado fisiológico de las coberturas vegetales, sus variaciones pueden ser utilizadas para estudios espacio-temporales del comportamiento de la vegetación.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI, (Rouse et al., 1974) se ha utilizado ampliamente como indicador del vigor de la biomasa vegetal, en estudios relacionados a comportamiento de cultivos, así como de vegetaciones boscosas naturales; sin embargo, muchas han sido las modificaciones de éste índice y se han desarrollado otros con el fin de corregir ciertas deficiencias, como por ejemplo, el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), (Huete, 1988) con el fin de minimizar el efecto del suelo en áreas con baja densidad de vegetación.

Si bien el uso de la teledetección y la aplicación de índices de vegetación han permitido avances importantes en el estudio del comportamiento espacial y temporal de las coberturas vegetales, actualmente se pueden señalar dos procesos que abren más posibilidades para continuar con investigaciones y nuevas aplicaciones en diferentes ámbitos, sobre todo relacionadas al estudio de los ecosistemas terrestres, estos son: mayor acceso a la información (mayor apertura de entidades públicas y privadas) y la innovación de tecnologías de los sensores transportados por satélite. En ese sentido, el presente estudio consistió en un análisis de parámetros biofísicos derivados de imágenes adquiridas por dos sensores, con el fin de realizar una descripción de la calidad, estado y diferenciación de los tipos de vegetación y su relación en el área geográfica del Estado Aragua en Venezuela para los años 1990, 2001, 2015 y 2018.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la última década, los índices de vegetación basados en datos remotos se han utilizado cada vez con más frecuencia como indicadores cuantitativos del funcionamiento de los ecosistemas. Esto es debido a su diseño conceptual y estructural de que, a partir de datos indirectos, se infiera el monto de energía absorbida, reflejada o irradiada por los objetos según sus propiedades ópticas al entrar en contacto con su superficie. Es por ello que se han utilizado para realizar estudios espaciales y multitemporales por la caracterización de ecosistemas, escalando observaciones locales y también para evidenciar la respuesta de la vegetación a las variaciones en los flujos radiante e hídrico.

El índice más empleado es el índice de la vegetación de diferencia normalizada (Normalized Difference Vegetation Index- NDVI), un cociente que representa las características funcionales de la planta activa y que contrasta la reflectancia de las bandas infrarrojo cercano (Near Infrared- NIR) y rojo (Red- R). Utilizando las mismas bandas, el índice de vegetación con ajuste de suelo (Soil Adjusted Vegetation Index- SAVI) también representa el vigor y la estructura del dosel, pero además incorpora un ajuste arbitrario para la cobertura incompleta del terreno.

El índice transformado con ajuste de suelo (Transformed Soil Adjusted Index-TSAVI) mejora este ajuste arbitrario mediante la incorporación de una "línea de suelo", calculada a partir de la comparación de todos los píxeles en los dominios NIR y R para obtener indicadores de la cantidad y el color de suelo expuesto (Gosamo-Gosa, 2009). Otra alternativa entre los índices, aunque no ampliamente utilizado, es el Índice infrarrojo de diferencia normalizada (Normalized Difference Infrared Index-NDII), que representa el contenido de agua de la cubierta del suelo, utiliza las longitudes de onda NIR e infrarrojo de onda corta (Short Wave Infrared-SWIR) y puede ser un indicador útil para diferenciar especies de hoja caduca (caducifolios) de especies de plantas suculentas.

El índice NDVI se ha utilizado para la estimación de parámetros importantes del flujo de energía (Asrar *et al.*, 1989; Myneni *et al.*, 1997). Pero, SAVI parece ser menos afectado por las variaciones en el brillo del suelo y por lo tanto sus valores para una cubierta vegetal dada son más bien independientes al reflejo del suelo (Gilabert *et al.*, 2002). Una comparación cuantitativa entre NDVI y SAVI indicó una tendencia sistemática de producir valores altos de NDVI en suelos más oscuros que en ligeros (Gilabert *et al.*, 2002). La influencia del suelo en el valor de los índices se espera que sea frecuente especialmente en áreas de ecosistemas abiertos con cobertura escasa (Huete, 1988).

Por otro lado, la reflectancia en SWIR está primeramente asociada con la absorción de agua, aunque por sí sola no puede usarse para estimar el contenido de humedad a escala de paisaje (Toomey y Vierling, 2005). NDII ha sido reportado como un indicador muy preciso del contenido de humedad foliar en variados ecosistemas (Hardisky *et al.*, 1983; Chuvieco *et al.*, 2002; Cheng *et al.*, 2008). Debido al papel de las hojas verdes en una amplia gama de procesos biológicos y físicos, la densidad de la cobertura de hojas en el terreno es medida a través del

índice de área foliar (Leaf Area Index- LAI). El modelado de ecosistemas a gran escala, que se utiliza para simular una gama de respuestas en el terreno a la variabilidad y los cambios en el clima (Myneni *et al.*, 1997), requiere de incorporar un conjunto de variables del terreno entre las cuales LAI es clave por sus implicaciones biológicas, biogeoquímicas y meteorológicas (Montieth, 1977; Jarvis y Leverenz, 1983).

La estimación del LAI se realiza por métodos directos, que implican muestreo destructivo y la colecta de hojarasca, e indirectos, basados en el registro del espectro electromagnético por sensores para radiometría y modelos de transferencia radiativa. La teledetección representa la única alternativa viable por escala, cobertura, temporalidad y costo, para caracterizar y monitorear el estado de la vegetación. Hay evidencia que soporta la estimación del LAI a partir de índices de la vegetación, por lo menos en regiones con cobertura alta (Green *et al.*, 1997; Turner *et al.*, 1999; Berterretche *et al.*, 2005; Tian *et al.*, 2007; Zeng y Moskal, 2009).

La escasa investigación desarrollada en Venezuela con tales fines permite tener un amplia gama de demandas para la obtención de dichos estudios, El Estado Aragua no está excepto de la poca información geo-referenciable disponible del mismo. Por lo que se plantean las siguientes interrogantes.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué imágenes satelitales se deben utilizar en el trabajo de investigación?

¿Qué procesamiento preliminar debe ser requerido para el uso de las imágenes satelitales?

¿Qué parámetros biofísicos se pueden estimar en las imágenes satelitales obtenidas?

¿Qué usos de la tierra presenta el área geográfica del Estado Aragua?

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

OBJETIVO GENERAL

Analizar Espacio-Temporalmente parámetro biofísicos en el Estado Aragua usando imágenes satelitales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Seleccionar las imágenes satelitales a ser usadas en el trabajo de investigación.
2. Realizar procesamiento preliminar de las imágenes satelitales.
3. Estimar los índices de vegetación para el estado Aragua a partir de imágenes satelitales.
4. Elaborar mapas de usos de la tierra a partir de imágenes satelitales del Estado Aragua.

JUSTIFICACIÓN

La presente investigación tiene como propósito la protección de la biodiversidad para la perpetuación de la especie humana, con el fin de mantener el equilibrio en los ecosistemas y todos los servicios que ella brinda a la humanidad. A través de la investigación y divulgación de los corredores ecológicos en el estado Carabobo para futuros desarrollos de la población en las zonas urbanas.

Así mismo, la investigación tendrá un aporte significativo a la academia, generando antecedentes de carácter regional y nacional de los beneficios que aporta la implementación y uso de los sensores remotos a los procesos de investigación en las áreas ambientales. Con aportes en los métodos de determinación de variables biofísicas como principales parámetros ambientales estudiados mediante el procesamiento de imágenes satelitales, para el estudio de los beneficios que generan los ecosistemas a la humanidad cuando son manejados de la manera más adecuada.

Del mismo modo, las teorías y algoritmos que sustentan la medición de los parámetros ambientales antes mencionados. Realiza aportes en el uso de las nuevas tecnologías, con la implementación y adaptación de los sensores remotos a las realidades Venezolanas con aplicaciones locales que generan referencias para futuras investigaciones en el área así como la innovación de dichas áreas de estudio (SIG, Conservación, Biodiversidad) siendo la biodiversidad y el conocimiento un trabajo de todos para mantener la vida (Rodríguez; 2003).

En este sentido, se generan aportes al ámbito técnico en la planificación territorial adecuada de los espacios venezolanos, especialmente en el estado Aragua, con el fin de resguardar la biodiversidad como símbolo de riqueza para las sociedades y la economía al ser fuente primaria de todos nuestros recursos, materiales y alimentos, así como el uso adecuado de los recursos naturales a partir de su análisis, debido a que la principal afectación de la biodiversidad está influenciada por la modificación de ecosistemas (Rodríguez, 2005).

La misma se encuentra enmarcada en la línea de investigación de la dirección de postgrado de la Facultad de Ingeniería denominada Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos del Ambiente; lo que a su vez demuestra la

pertinencia y necesidad de la investigación con las necesidades y potenciales necesarios a investigar dentro de la Universidad de Carabobo.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Como alcances de la presente investigación se tiene que las imágenes a utilizar son las disponibles en la Colección de Satélites LANDSAT en la base de datos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés). Como limitaciones se puede mencionar el Rango Temporal utilizado para el procesamiento de imágenes entre 1990 y 2018 para poder evaluar imágenes con frecuencias de más de 10 años.

El procesamiento preliminar de las imágenes se realizara con los Software de procesamiento de imágenes ERDAS, ARC Gis y ENVI. Los cuales consisten en la apilación de las diferentes bandas espectrales que componen la imagen satelital (Stack), Corrección atmosférica (ATCOR) y la selección de la Sub-escena (SUBSET). En cuanto a los índices de vegetación que se pretenden estimar son: Índice de Vegetación (NDVI), Índice de Vegetación Especificado al Suelo (SAVI), Valor de Vegetación Foliar (LAI).

Se tiene como alcance también el diseño de mapas con distribución en función de los usos de la tierra de acuerdo a: zonas urbanas, recurso hídrico, y cobertura vegetal en el Estado Aragua (Resolución Espacial) durante la escala de tiempo comprendida entre 1990 - 2018 (Resolución Temporal), con análisis de imágenes una por año en intervalos de más de 10 años (1990, 2001, 2015 y 2018) mediante el procesamiento de imágenes obtenidas de los satélites LANDSAT, entre las

limitaciones podemos mencionar con respecto a la disponibilidad de imágenes en la base de datos LANDSAT.

CAPÍTULO II MARCO TEORICO

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presenta un resumen de algunos trabajos e investigaciones realizadas en Venezuela y en otros países, utilizando modelos de estimación de evapotranspiración a partir de imágenes satelitales y estudios sobre cuencas, que por su contenido o por su metodología se convirtieron en bases de referencia para el desarrollo de esta investigación.

Como antecedentes previos a la investigación se tienen los aportes realizados por Gonzaga; C. (2014) con su investigación **“Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia De Loja, Ecuador”**, en la misma se puede resaltar que consistió en la evaluación de tres índices de vegetación, como estimadores de cambios de diferentes tipos de cobertura vegetal en la provincia de Loja al sur de Ecuador. Los índices empleados fueron: el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI, Índice de Estrés Hídrico MSI y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo SAVI, aplicados a imágenes provenientes de dos sensores, Landsat 7 ETM+ y ASTER. Además se aplicaron técnicas de análisis espacial como kriging para establecer superficies climáticas, generadas a partir de datos de precipitación y temperatura para verificar la relación del vigor vegetal de las coberturas, dada por los valores de los índices de vegetación, con respecto a estas variables climáticas. Los resultados muestran que los tres índices de vegetación permitieron discriminar los diferentes tipos de cobertura vegetal analizadas, no hubo diferencias significativas entre los tres. En cuanto a la capacidad para estimar el estado de las coberturas el MSI fue el índice

que tuvo ligeramente mejor correspondencia entre sus valores y los estados de las coberturas vegetales en las dos imágenes.

Como otros referentes previos a la investigación se tienen los aportes de Cardozo y Da Silva (2013) con su investigación titulada “**Aplicaciones urbanas de los sensores remotos**”; publicada en la Revista Geográfica Digital. IGUNNE. Donde plantea a partir de una compilación de otros autores que las aplicaciones urbanas de las imágenes satelitales son bastante diversas y aún siguen creciendo, de hecho, el empleo de los Sensores Remotos en ámbitos urbanos ha sido una de las que más han crecido últimamente. De acuerdo con Chuvieco (2008) menciona como publicaciones recientes los trabajos de Au (1993) y Lulla (1993); sin embargo, en una reciente recopilación (Cardozo-Da Silva, 2012) hemos detectado que en la última década el número de publicaciones no periódicas aumentó considerablemente, lo que es un indicador del fuerte interés académico y científico en la temática.

Seguidamente se tienen los aportes de Rodriguez y Bullock (2013), con su investigación “**Comparación espacial y temporal de índices de la vegetación para verdor y humedad y aplicación para estimar LAI en el Desierto Sonorense**”; en la misma Se realizó una comparación multitemporal de cuatro índices de la vegetación en 50 sitios en una región árida subtropical con costa. Los índices de verdor (NDVI, SAVI y TSAVI) y de humedad (NDII) fueron evaluados. NDVI y SAVI estuvieron muy correlacionados mientras que TSAVI fluctuó menos y NDII mostró fuertes variaciones estacionales. La corrección topográfica (superficie iluminada) de los datos crudos causó un incremento en el valor de pendiente de la línea del suelo >20%. Los índices, excepto NDII, se usaron para estimar el Índice de área foliar, y el análisis señal-a-ruido evidenció que SAVI está muy cercano a NDVI, pero TSAVI tuvo mucha mayor señal en los meses secos.

En este mismo orden de ideas, **Paruelo**, (2008) con su publicación: “**La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos**”, donde se recurrió a la interpretación visual de imágenes y la clasificación digital. En estos casos, un atributo de la superficie terrestre (por ej. un tipo dado de cobertura) se relaciona con un comportamiento espectral determinado, los valores de reflectancia o emisión de la superficie terrestre en distintas longitudes de onda, sin conocer los mecanismos del vínculo. Describe los procesos biofísicos a nivel de ecosistema a partir de la información registrada por los sensores. Discute el vínculo entre los datos registrados por los sensores a bordo de satélites de observación terrestre y dos procesos funcionales del ecosistema: la productividad primaria y la evapotranspiración; de acuerdo a la definición funcional y potencial de los alcances que tienen los SIG en la investigación sobre ecosistemas.

BASES TEÓRICAS

Satélite Landsat

Representa la colección de datos de teledetección terrestre de resolución moderada, basada en el espacio, la más larga y continuamente adquirida del mundo. Es un programa desarrollado por la NASA Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA: *National Aeronautics and Space Administration*, por sus siglas en inglés), originalmente denominado ERTS (Earth Resources Technology Satellite, por sus siglas en inglés). El primero de sus satélites fue puesto en órbita el 23 de julio de 1972 con carácter experimental, cuyo objetivo era demostrar la viabilidad de mapear y monitorizar rasgos de la superficie de la Tierra a partir de imágenes orbitales, convirtiéndose en el primer programa de satélite de sensor remoto destinado exclusivamente a la cartografía y evaluación de los recursos terrestres (USGS, 2017).

Martínez (2005) en su investigación denominada “Fundamentos de Teledetección Espacial” establece que la familia de satélites Landsat, a partir del segundo lanzamiento en 1975, ha constituido uno de los proyectos más fructíferos de teledetección espacial; la buena resolución de sus sensores, el carácter global y periódico de las observaciones que realizan y su buena comercialización, explican su gran empleo por parte de expertos de muy variados campos a nivel mundial.

TABLA 1:

Descripción de los satélites Landsat

| SATÉLITE | LANZAMIENTO (Fin de Operación) | SENSORES | RESOLUCIÓN ESPACIAL (m) | ALTURA (km) |
|------------------|---|-----------------|------------------------------------|------------------------|
| ERTS-1 | 23/07/1972 | RBV | 80 | 917 |
| | (06/01/1978) | MSS | 80 | |
| Landsat-2 | 22/01/1975 | RBV | 80 | 917 |
| | (27/07/1983) | MSS | 80 | |
| Landsat-3 | 05/03/1978 | RBV | 80 | 917 |
| | (07/09/1983) | MSS | 80 | |
| Landsat-4 | 16/07/1982 | MSS | 80 | 705 |
| | (14/12/1993) | TM | 30 | |
| Landsat-5 | 01/03/1984 | MSS | 80 | 705 |
| | (enero 2013) | TM | 30 | |
| Landsat-6 | 03/10/1993 | ETM | 15 (Pan) | 705 |
| | (no entró en órbita) | | 30 (MS) | |
| Landsat-7 | 15/04/1999 | ETM+ | 15 (Pan) | 705 |
| | (en órbita) | | 30 (MS) | |
| Landsat-8 | 11/02/2013 | OLI | 15(Pan) | 705 |
| | (en órbita) | TIRS | 30(MS) | |

Sistema de Referencia Mundial

El Sistema de Referencia Mundial (WRS) es un sistema de notación global para datos de Landsat. Permite a un usuario indagar acerca de las imágenes de satélite en cualquier parte del mundo especificando un centro de escena nominal designado por los números PATH y ROW. El WRS ha demostrado ser valioso para catalogar, referenciar y usar día a día las imágenes transmitidas desde los sensores Landsat. (NASA, 2017)

La combinación de un número de fila y un número de columna, identifica de forma exclusiva un centro de escena nominal. El número de la trayectoria se da siempre primero, seguido por el número de fila. Los satélites Landsat 4, 5, 7 y 8 siguen el sistema WRS-2, el cual es una extensión del sistema WRS-1 de Landsat 1, 2 y 3 y utiliza un sistema fila/ columna ordenado de una manera similar.

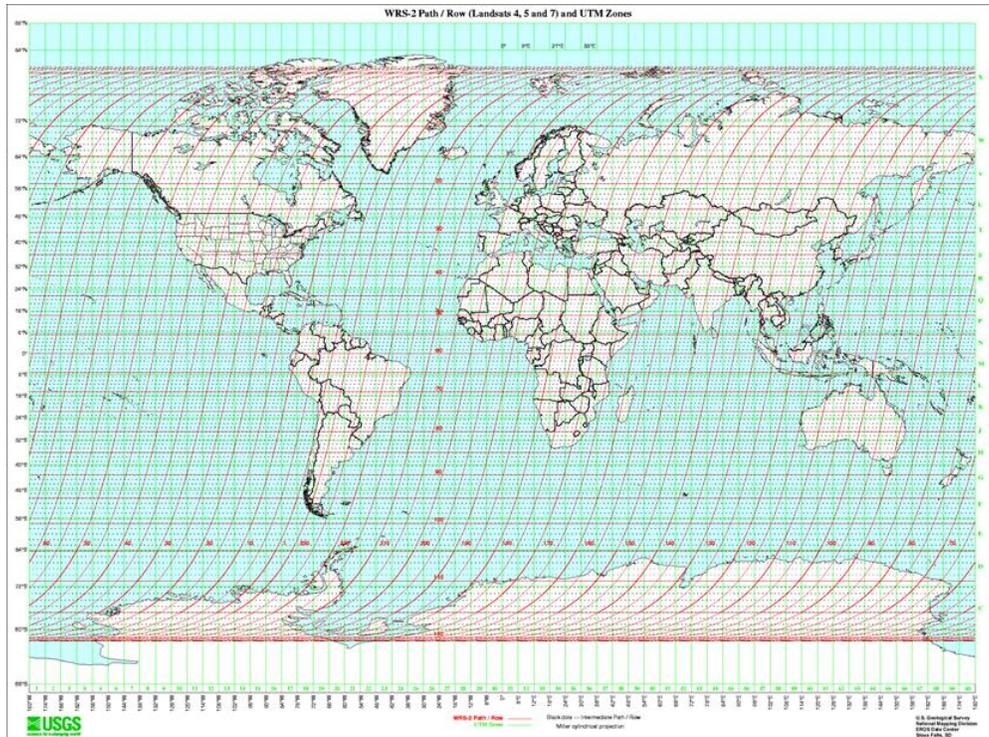


Figura N° 1. Sistema de referencia mundial descendente WRS-2.

Sistema de Información Geográfica (SIG)

Un Sistema de Información Geográfico, conocido por los acrónimos SIG o GIS (Geographic Information System), es una integración de hardware y software que posee la capacidad de recolectar, almacenar, editar, manejar, analizar y representar en todas sus formas información geográficamente referenciada. Es importante destacar que el análisis de estos datos puede implicar la elaboración y aplicación de complejos modelos (Olaya, 2011)

Los SIG constituyen una herramienta innovadora para manipular la información espacial georreferenciada en las organizaciones. La captura de los datos de interés se realiza a través de la teledetección. Su uso y aplicación se ha incrementado intensivamente a partir de la década de los noventa, por lo que el uso de una metodología para su implantación se ha tornado indispensable para llevar a cabo su desarrollo exitoso, y obtener un SIG eficaz y sinérgico.

Modelos

Como lo afirma Bunge (1985), la investigación científica arranca a partir de la percepción de que el acervo de conocimientos disponibles es insuficiente para resolver determinados problemas. A lo largo de la tarea de investigación es necesario, a menudo, tener que realizar simplificaciones de los problemas que se intentan resolver, para poder reducirlos a una serie limitada de variables que puedan ser manejables. En las áreas de conocimiento relacionadas con el medio ambiente, al ser tan amplio y variable la cantidad de factores que determinan el comportamiento de cada sistema, este proceso de selección de las variables a las que es más sensible el sistema y la eliminación del resto es una tarea imprescindible. Por ello, la forma más común de abordar estos problemas en el medio ambiente es utilizando modelos.

Un modelo de un sistema puede ser definido como una conceptualización del mismo que preserva las características esenciales para el fin que nos ocupa, sin necesidad de conservarlas todas (Andreu, 1993). Es decir, un modelo es una representación simplificada de la realidad (un sistema complejo) que puede ser manipulado para analizar la misma (Estrela, 1996). Por esto, la hidrología superficial (ciencia encargada del estudio de las aguas superficiales) requiere de modelos para representar el funcionamiento de los sistemas hidrológicos complejos.

Modelos determinísticos

Si un modelo no contiene ningún componente probabilístico (por ejemplo, aleatoriedad), es llamado determinístico. En este tipo de modelos el resultado es determinado una vez que el conjunto de entradas cuantitativas y las relaciones con el modelo han sido especificados.

Sin embargo y en muchas ocasiones, en hidrología no se pueden conocer con exactitud todos los componentes del sistema y sus interrelaciones, aunque sí una buena parte de ellos. Un ejemplo de esto son los modelos de balance hídrico. Entre ellos, la variable de entrada es la precipitación y evapotranspiración, la variable de salida es la producción hídrica, y ambos están relacionados por una serie de ecuaciones que representan con mayor o menor fidelidad.

El procedimiento a seguir para una modelación de un sistema hidrológico debe tomar en cuenta los siguientes parámetros generales: definición del problema a modelar, elección del tipo de modelo, calibración de los parámetros del modelo, validación de los parámetros, y simulación del modelo calibrado para la solución del problema planteado.

Calibración de los parámetros del modelo

Simulación del modelo

Una vez realizados los pasos de calibración y validación del modelo, se procede a dar los resultados deseados. Simular el comportamiento de una cuenca hidrológica con la ayuda de un modelo matemático cobra sentido cuando la información obtenida con el mismo resulta imprescindible para lograr un objetivo difícilmente alcanzable por otros medios menos costosos. Los modelos facilitan la manipulación de las variables que intervienen en el proceso de conservación de energía, balance de energía superficial o el balance hídrico, los cuales aportan información sobre la distribución espacial de la producción hídrica.

Modelo SEBAL

El modelo de Algoritmo para el Balance de Energía Superficial, conocido por sus siglas en inglés, SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) fue desarrollado en 1995 por Win Bastiaansen, WaterWatch, Wageningen, en los países bajos, posteriormente modificado en USA-IDAHO con el nombre de METRIC (2000).

El modelo SEBAL resuelve el balance de energía pixel a pixel, a partir de imágenes de satélite e información meteorológica básica. Determinando los componentes del balance de energía superficial al combinar parametrizaciones físicas y relaciones empíricas con una mínima cantidad de información de campo. La información clave para aplicar este modelo consiste en la radiancia espectral medida por los satélites en las regiones del visible, infrarrojo cercano e infrarrojo

térmico del espectro electromagnético e información meteorológica de rutina como la velocidad del viento, temperatura del aire, radiación solar y humedad del aire.

$$\lambda ET = R_n - G - H$$

Donde:

- R_n : Radiación neta, expresada en W/m^2 .
- G : Flujo de Calor en el Suelo, expresado en W/m^2 .
- H : Flujo de Calor Sensible, expresado en W/m^2 .
- λET : Flujo de Calor Latente, expresado en W/m^2 .

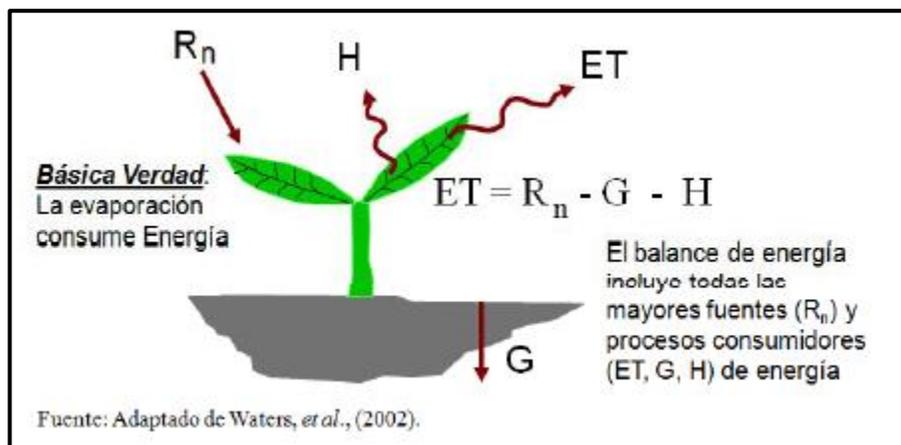


Figura N° 2. Balance de energía superficial. Fuente: Manual SEBAL (2002)

En el modelo SEBAL, la radiación neta (R_n) es computada mediante la información de la radiancia espectral en las diferentes longitudes del espectro captada por los satélites de observación terrestre. Este modelo es aplicable sólo a imágenes de satélites que cuenten con una banda en la región del infrarrojo térmico, la cual servirá para estimar la temperatura de superficie. El

Flujo de calor en el suelo (G) es estimado a través de la radiación neta, la temperatura de superficie y el cálculo de algunos índices de vegetación. El flujo de calor sensible (H) se ajusta mediante la selección de dos píxeles anclas tomados de la imagen, que representan condiciones extremas, uno de aridez (flujo de calor latente cercano a cero) y el otro de humedad (flujo de calor sensible cercano a cero). Con estos tres componentes se procede a calcular el flujo de calor latente (ET), como un residual del balance de energía para el momento de paso del satélite. Para la conversión de los valores instantáneo del ET a valores diarios (24horas) se usa la fracción de evaporación y la radiación neta diaria (Rn_{24})

El modelo SEBAL mantiene algunas de las siguientes consideraciones conceptuales:

- SEBAL está basado en el principio de conservación de energía en el que la energía entrante es igual a la energía saliente.
- SEBAL requiere de imágenes de reflectancia y temperatura de superficie para su aplicación.
- Solo los flujos verticales son considerados.
- Los componentes menores de energía son ignorados.
- La Evapotranspiración (ET) es calculada como un residual del balance de energía.

Conversión de ND a Radiancia espectral

Esta conversión se realiza debido a que los datos contenidos en las imágenes satelitales (sean estas del satélite Landsat o cualquier otro) están representados por una serie cuantificada, calibrada y escalada de Niveles Digitales (DN), los cuales no representan ninguna variable biofísica por sí mismos, por lo que no es conveniente

obtener ningún índice espectral mediante estos valores sin previo procesamiento. Uno de los métodos existentes para esto, recibe el nombre de “Método de escalamiento de la Radiancia espectral” y consiste en la aplicación de la siguiente fórmula:

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{CAL} + A_L$$

Donde:

- L_{λ} : Radiancia espectral, expresada en $W/(m^2 * sr * \mu m)$.
- M_L : factor multiplicativo de escalado específico obtenido del archivo de metadatos (RADIANCE_MULT_BAND_x, donde x es el número de la banda).
- Q_{CAL} : Producto estándar cuantificado y calibrado por valores de pixel (DN). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen.
- A_L : factor aditivo de escalado específico obtenido del archivo de metadatos (RADIANCE_ADD_BAND_x, donde x es el número de la banda).

Conversión a Reflectancia en el tope de la atmósfera

Similar a la conversión a Radiancia espectral, la conversión a los valores de Reflectancia en el tope de la atmosfera (TOA) se realiza mediante el procesamiento de los Niveles Digitales (DN) y los coeficientes de Reflectancia re-escalados contenidos en el archivo de metadatos. Dicha conversión debe contener una corrección angular, ya que “la Reflectancia real de una cubierta captada por un sensor espacial está condicionado por el comportamiento de la atmósfera y del ángulo de observación” (Ariza, 2013). La Ecuación a utilizar para realizar este procedimiento es la siguiente:

$$\rho_{\lambda} = \frac{M_{\rho} * Q_{CAL} + A_{\rho}}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{M_{\rho} * Q_{CAL} + A_{\rho}}{\sin(\theta_{SE})}$$

Donde:

- ρ_{λ} : Reflectancia en el tope de la atmosfera con corrección angular.
- M_{ρ} : factor multiplicativo de escalado específico por banda obtenido del archivo de metadatos (REFLECTANCE_MULT_BAND_x, donde x es el número de la banda).
- Q_{CAL} : Producto estándar cuantificado y calibrado para valores de pixel (DN). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen.
- A_{ρ} : factor aditivo de escalado específico por banda obtenido del archivo de metadatos (REFLECTANCE_ADD_BAND_x, donde x es el número de la banda).
- θ_{SE} : ángulo solar zenith local, complemento del ángulo de elevación solar.
- θ_{SZ} : ángulo de elevación solar, contenido en el archivo de metadatos (SUN_ELEVATION).

Albedo en el tope de la atmosfera

El albedo en el tope de la atmosfera (TOA) es el albedo no ajustado para la trasmisividad atmosférica y se calcula mediante la siguiente Ecuación:

$$\alpha_{TOA} = \sum \omega_{\lambda} * \rho_{\lambda}$$

$$\omega_{\lambda} = \frac{ESUN_{\lambda}}{\sum ESUN_{\lambda}}$$

Donde:

- α_{TOA} : albedo en el tope de la atmosfera.
- ω_{λ} : coeficiente ponderado para cada banda.
- ρ_{λ} : Reflectancia.
- $ESUN_{\lambda}$: Irradiancia solar exoatmosferica.

Para el caso de Irradiancia solar atmosférica ($ESUN_{\lambda}$), se presentan valores constantes para cada una de las bandas del satélite Landsat 7. Sin embargo, para el caso del satélite Landsat 8, el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS: U.S. Geological Survey, por sus siglas en inglés) no proporciona dichos valores, debido a que ya no son necesarios para la corrección atmosférica. Sin embargo, recomiendan el uso de la siguiente Ecuación para su estimación:

$$ESUN_{\lambda} = \pi * d^2 * \frac{RADIANCE_{MAXIMUM}}{REFLECTANCE_{MAXIMUM}}$$

Donde:

- $ESUN_{\lambda}$: Irradiancia solar exoatmosferica para cada banda, expresada en $W/(m^2 * \mu m)$.
- d^2 : distancia relativa entre el sol y la tierra en unidades astronómicas (1 UA=1,49598 x 10⁸ km).
- $RADIANCE_MAXIMUM$: Radiancia máxima de cada banda obtenido del archivo de metadatos ($RADIANCE_MAXIMUM_BAND_x$, donde x es el número de banda).

- REFLECTANCE_MAXIMUM: Reflectancia máxima de la banda obtenida del archivo de metadatos (REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_x, donde x es el número de la banda).

Albedo superficial

El albedo superficial se calcula mediante la aplicación de la Ecuación:

$$\alpha = \frac{\alpha_{TOA} - \alpha_{PATH-RADIANCE}}{\tau_{SW}^2}$$

Donde:

- α_{TOA} : Albedo en el tope de la atmosfera (Ecuación 3).
- $\alpha_{PATH-RADIANCE}$: porción de radiación solar entrante a través de las bandas que es difundida hacia los satélites antes de que ésta alcance la superficie terrestre. Su valor varía en un rango de 0,0025 y 0,04. Sin embargo, el valor recomendado para la aplicación del modelo SEBAL es de 0,03 (Bastiaassen, 2000)
- τ_{SW} : Transmisividad atmosférica. (Allen et al., 2006) propone la siguiente Ecuación para su cálculo:

$$\tau_{SW} = 0,75 + 2 * 10^{-5} * z$$

Donde:

- z: elevación del área de interés sobre el nivel del mar (msnm). Esta elevación dese ser la correspondiente a la estación meteorológica.

Índices de Vegetación

De forma genérica, se podría definir un índice de vegetación como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia a distintas longitudes de onda y que pretende extraer de los mismos la información relacionada con la vegetación, minimizando la influencia de las perturbaciones como las debidas al suelo y a las condiciones atmosféricas (Gilabert et al, 1997). El término también hace referencia a combinaciones de bandas espectrales registradas por los satélites de Teledetección, cuyo objetivo es realzar la vegetación en función de su respuesta espectral, atenuando las respuestas de otros componentes como la iluminación, el suelo, etc.

Índices de Vegetación de Diferencias Normalizadas

Conocido por sus siglas en inglés, el Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas o NDVI, es un índice que arroja valores estimados de intensidad del verdor de la zona y da cuenta de la cantidad de vegetación presente en una superficie y su estado de salud o vigor vegetativo (Unasylva, 2011). El NDVI proporciona valores adimensionales, los cuales varían dentro de un intervalo de (-1) y (1). De ellos, los valores negativos pertenecen a nubes, cuerpos de agua y zonas de suelo desnudo.

En condiciones normales, la vegetación sana tiene reflectancia baja en la porción del espectro electromagnético correspondiente al visible y alta en el espectro NIR, debido a que la mayor parte de la energía de ese tipo que llega a las plantas es absorbida, y una cantidad menor es reflejada. Por el contrario, cuando la vegetación se encuentra bajo estrés (falta de agua, falta de nutrientes, etc), tiende a absorber menos radiación solar en el espectro visible, aumentando sus valores de reflectancia, absorbiendo más en el NIR. Como consecuencia de esto, la diferencia

de las reflectancias, decrecerá cuando la vegetación se vea afectada por alguno de los factores causantes de estrés.

Es importante resaltar que la interpretación del índice debe tomar en cuenta los ciclos fenológicos y de desarrollo anuales para poder diferenciar las oscilaciones naturales de la vegetación de los cambios en la distribución espacio-temporal causados por otros factores. Asimismo, se deben tomar en cuenta las siguientes premisas:

- El agua tiene reflectancia $\rho_{\lambda_R} - \rho_{\lambda_{NIR}}$ y, en consecuencia, valores negativos de NDVI.
- El suelo desnudo y con vegetación rala presenta valores positivos, aunque no muy elevados.
- La vegetación densa, húmeda y bien desarrollada presenta los mayores valores de NDVI.
- La atmosfera, en especial las nubes, influyen sobre las señales de ambas reflectancias en estudio, tendiendo a disminuir el valor real de NDVI.

El Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas, se calcula mediante la siguiente Ecuación:

$$NDVI = \frac{(\rho_{\lambda})_{NIR} - (\rho_{\lambda})_R}{(\rho_{\lambda})_{NIR} + (\rho_{\lambda})_R}$$

Donde:

- $\rho_{\lambda_{NIR}}$: Reflectancia en la banda del infrarrojo cercano de la imagen satelital.
- ρ_{λ_R} : Reflectancia en la banda roja de la imagen satelital.

Índice de Vegetación Ajustado al Suelo

El Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), se desarrolló debido a la necesidad de disminuir las alteraciones del valor arrojado por el Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI) al estudiarse en zonas áridas, ya que el mismo valor de NDVI puede corresponder a cubiertas vigorosas poco densas, o a cubiertas densas, pero con poca vitalidad. Este índice entonces está indicado para el trabajo en zonas semiáridas, donde la contribución del suelo es muy importante, minimizando el efecto de la reflectancia del suelo mediante la introducción de un factor de ajuste. Huete (1988) propone la siguiente Ecuación para su estimación:

$$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_4 - \rho_3)}{L + \rho_4 + \rho_3}$$

Donde:

- ρ_4 : Reflectancia en la banda 4
- ρ_3 : Reflectancia en la banda 3
- L: constante para ajustar la línea de vegetación - suelo al origen. Puede tomar valores entre 0 y 1, dependiendo de la densidad de la vegetación (valores más altos del índice, para densidades más bajas).
 - L=0: SAVI=NDVI
 - L=1: para muy bajas densidades de vegetación.
 - L=0,5: para densidades de vegetación intermedias.

No obstante, la Ecuación sólo ha sido calibrada para el suelo del sur de Idaho, Estados Unidos, por lo que no es de uso universal. Para dicha calibración, fue usado un valor de L igual a 0,1 debido a que la desviación estándar fue mínima para las

cinco condiciones de suelo que fueron evaluadas en dicha región. Por lo tanto, el valor de L usado en esta investigación es de 0,1.

Índice de Área Foliar

Conocido por sus siglas en inglés, el Índice de Área Foliar (LAI) es un parámetro adimensional que está definido por la razón entre el área foliar de toda la vegetación por unidad de área utilizada por la vegetación. El LAI es un indicador de la biomasa de cada pixel de la imagen (SEBAL, 2002). El máximo valor que puede tomar es de 6,0 por lo que esto corresponde a valor de un SAVI de 0,687. Esto se debe a que más allá del valor mencionado, los valores de SAVI se “saturan” con el aumento del LAI y no cambian significativamente.

$$LAI = \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91}$$

Donde:

- LAI: Índice de Área Foliar
- SAVI: Índice de Vegetación Ajustada al Suelo.

Bases Legales

Las bases legales son todas aquellas acciones que están establecidas en leyes del estado venezolano y comprenden aquellos artículos que tengan que ver con el trabajo de la investigación. De igual manera comprende el apoyo principal, moral y legal que se le debe prestar a una persona en cuanto se le sean violados, sus derechos y el hecho de cumplimiento de la ley acarrear sanciones.

Según Alexis G. Pérez (2002), define a las bases Legales “Como el conjunto de leyes, Reglamentos, normas, decretos, entre otros; que establezcan el basamento jurídico que sustenta la investigación” Además comprenden el conjunto de normativas que regulan la situación que se mantiene como objeto de la investigación, en este particular, es necesario mencionar algunos basamentos legales como lo son la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (CRBV) de 1999, en sus artículos 127 y 128 donde habla de los derechos Ambientales de Venezuela, los cuales se citan a continuación:

Artículo 127: “Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica. El genoma de los seres vivos no podrá ser patentado, y la ley que se refiera a los principios bioéticos regulará la materia.

Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley”.

Artículo 128. “El Estado desarrollará una política de ordenación del territorio atendiendo a las realidades

ecológicas, geográficas, poblacionales, sociales, culturales, económicas, políticas, de acuerdo con las premisas del desarrollo sustentable, que incluya la información, consulta y participación ciudadana. Una ley orgánica desarrollará los principios y criterios para este ordenamiento”.

En cuanto a los artículos antes mencionados se establece que es un derecho de todos los ciudadanos que habitan en Venezuela, salva guardar los recursos y espacios pertenecientes a la nación en beneficio de todos los ciudadanos y el mundo, así mismo el estado deberá promover investigaciones relacionadas con la protección del ambiente, por lo que la presente investigación tienen una pertinencia y enmarcada en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela como un derecho y deber ciudadano.

La Ley Orgánica de Ambiente (LOA) de 2006; también guarda una estrecha relación con la presente investigación de acuerdo a lo establecido en los artículos 12, 24, 26, 29 y 75; en los cuales se menciona que:

Artículo 12 “El Estado, conjuntamente con la sociedad, deberá orientar sus acciones para lograr una adecuada calidad ambiental que permita alcanzar condiciones que aseguren el desarrollo y el máximo bienestar de los seres humanos, así como el mejoramiento de los ecosistemas, promoviendo la conservación de los recursos naturales, los procesos ecológicos y demás elementos del ambiente, en los términos establecidos en esta Ley”.

En el *Artículo 12* de la Ley Orgánica del Ambiente se establece que tanto el estado como la sociedad deben de manera conjunta generar alternativas de

desarrollo y bienestar de acuerdo a todos los procesos que realiza el ambiente; por lo que esta investigación además de estar debidamente enmarcada en la ley también propicia una mejora social y académica al tener aportes a la investigación y las ciencias.

Artículo 24 “La planificación del ambiente forma parte del proceso de desarrollo sustentable del país. Todos los planes, programas y proyectos de desarrollo económico y social, sean de carácter nacional, regional, estatal o municipal, deberán elaborarse o adecuarse, según proceda, en concordancia con las disposiciones contenidas en esta Ley y con las políticas, lineamientos, estrategias, planes y programas ambientales, establecidos por el ministerio con competencia en materia de ambiente”.

Artículo 26 “La planificación del ambiente está circunscrita a un sistema integrado y jerarquizado de planes, cuyo instrumento fundamental es el Plan Nacional de Ordenación del Territorio. El Plan Nacional del Ambiente se desarrollará con carácter vinculante por todos los órganos y entes del Poder Público Nacional, Estatal y Municipal, así como por los consejos comunales. Los planes ambientales, nacionales, regionales, estatales, municipales y locales, conforman el sistema nacional para la planificación del ambiente y son instrumentos fundamentales de la gestión pública en materia ambiental.”

Así mismo, en los *Artículos 24 y 26* de la Ley Orgánica del Ambiente se hace mención de la importancia de la planificación ambiental en todos los rangos de división político territorial, lo que evidencia que por mucho tiempo no se han considerado estructura superiores para la organización territorial como podrían ser establecidos los corredores ecológicos, aun cuando si se establece la protección de la flora, fauna y ecosistemas.

Artículo 29 “Constituyen otros instrumentos para la planificación del ambiente la ordenación del territorio, las normas técnicas ambientales, las evaluaciones ambientales, la gestión integral de todas las áreas del alto valor ecológico, los sistemas de información geográfica y los criterios e indicadores de sustentabilidad.”

Así mismo, en el *Artículo 29* de la Ley Orgánica del Ambiente menciona que aquellas áreas de valor ambiental o ecológico podrán establecerse parámetros o normas que gestión de manera integral las mismas como lo son los sistemas de información geográfica y criterios e indicadores de sustentabilidad como serían los corredores ecológicos, objetos de estudio de esta investigación.

Artículo 75 “La Autoridad Nacional Ambiental orientará, fomentará y estimulará los estudios y la investigación básica y aplicada sobre el ambiente, según las leyes que regulan la materia. Asimismo promoverá, apoyará y consolidará proyectos con las instituciones, universidades nacionales e internacionales, pueblos y comunidades indígenas, consejos comunales y comunidades organizadas de vocación ambientalista.”

A su vez, en el *Artículo 75* de la Ley Orgánica del Ambiente establece que las autoridades ambientales competentes deben fomentar e estimular la investigación aplicada al ambiente en pro de su protección, conservación y determinación de sus potencialidades en todos los niveles educativos, por lo que de requerir alguna información o apoyo para el desarrollo de la presente investigación se podrá solicitar datos al ministerio o cualquier ente que maneje bases de datos relacionadas con la investigación.

En líneas generales la investigación se encuentra enmarcada en la normativa legal venezolana y acorde a todas las exigencias de la ley y la nación para generar aportes de interés nacional en beneficio del ambiente y todos los ciudadanos de ahora y generaciones futuras.

Definición de Términos

- **Ambiente:** Conjunto o sistema de elementos de naturaleza física, química, biológica o socio cultural, en constante dinámica por la acción humana o natural, que rige y condiciona la existencia de los seres humanos y demás organismos vivos, que interactúan permanentemente en un espacio y tiempo determinado. (Ley Orgánica del Ambiente Art. 3, 2006).
- **Biodiversidad:** La biodiversidad es la propiedad de los sistemas vivos de ser distintos, es decir, diferentes entre sí; no es una entidad, sino una propiedad (Solbrig, 1994), un elemento fundamental de todos los sistemas biológicos (Halffter y Ezcurra, 1992). También es una característica de las múltiples formas de adaptación e integración de la especie humana a los ecosistemas de la Tierra, y no un recurso (Solbrig, 1994. Citado de Núñez; I, 2003).

- **Calidad del Ambiente:** Características de los elementos y procesos naturales, ecológicos y sociales, que permiten el desarrollo, el bienestar individual y colectivo del ser humano y la conservación de la diversidad biológica. (Ley Orgánica del Ambiente Art. 3, 2006).

- **Desarrollo Sustentable:** Proceso de cambio continuo y equitativo para lograr el máximo bienestar social, mediante el cual se procura el desarrollo integral, con fundamento en medidas apropiadas para la conservación de los recursos naturales y el equilibrio ecológico, satisfaciendo las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las generaciones futuras. (ONU. Informe de *Brundtland*, 1987).

- **Ecosistema:** Sistema complejo y dinámico de componentes biológicos, abióticos y energía que interactúan como una unidad fundamental. (Ley Orgánica del Ambiente Art. 3, 2006).

- **Gestión Ambiental:** Todas las actividades de la función administrativa, que determinen y desarrollen las políticas, objetivos y responsabilidades ambientales y su implementación, a través de la planificación, el control, la conservación y el mejoramiento del ambiente. (Ley Orgánica del Ambiente Art. 3, 2006).

- **Planificación ambiental:** Proceso dinámico que tiene por finalidad conciliar los requerimientos del desarrollo socio económico del país, con la conservación de los ecosistemas, los recursos naturales y un ambiente sano, seguro y ecológicamente equilibrado. (Ley Orgánica del Ambiente Art. 3, 2006).

- **Preservación:** Aplicación de medidas para mantener las características actuales de la diversidad biológica, demás recursos naturales y elementos del ambiente. (Ley Orgánica del Ambiente Art. 3, 2006).
- **Recursos naturales:** Componentes del ecosistema, susceptibles de ser aprovechados por el ser humano para satisfacer sus necesidades. (Ley Orgánica del Ambiente Art. 3, 2006).

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

En lo referente al marco o metodología de la investigación Fidias (2006), afirma que, comprende la metodología del proyecto incluyendo el tipo de investigación, las técnicas, instrumentos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Siendo el “cómo” se realizara el estudio para dar respuesta al problema planteado (p. 110), el cual estará organizado bajo la estructura que el propone con la finalidad de lograr objetivos de la investigación de forma valida y con un alto nivel de precisión y confiabilidad, mediante el cual se podrá recolectar, organizar y analizar la información, con la que se interpretaran los resultados en función del problema que se investiga. Por consiguiente en el presente capítulo se mostraran los aspectos relacionados con dicha metodología, como el nivel y diseño de la investigación, la población y muestra que se utilizó.

Naturaleza de la Investigación

Existe una gran cantidad de parámetros para clasificar los trabajos de investigación de acuerdo los autores lo clasifican según el carácter, el tipo de conocimiento, el enfoque y diseño de la investigación. En el caso de estudio, la investigación se halla enmarcada dentro del paradigma Cuantitativo, mediante el cual, se utiliza la recolección de datos y el análisis de los datos recolectados para constatar la pregunta de investigación planteada previamente, confiando en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de estadísticas para establecer con exactitud, patrones de comportamiento en una población.

De acuerdo a la presente investigación se busca constatar las hipótesis planteadas a partir del procesamiento de imágenes satelitales sin que estos sean alterados o ajustados de acuerdo a intervención externa; los valores arrojados a

partir de los datos analizados serán netamente presentados tal como sean arrojados por los Sistemas de Información Geográfica y los diferentes programas utilizados.

Diseño de la Investigación

Con el propósito de responder a las preguntas de investigación planteadas y cumplir con los objetivos del estudio, el investigador debe seleccionar o desarrollar un diseño de investigación específico. Cuando se establecen y formulan hipótesis, los diseños sirven también para someterlos a prueba. Los diseños cuantitativos pueden ser experimentales o no experimentales. Un diseño no experimental está basado en Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos (Hernández, Fernández & Sampieri, 2010). En este sentido haciendo referencia al diseño de la investigación, (Palella & Martins, 2010) señalan que se refiere a la estructura que adopta el investigador para responder al problema, dificultad o inconveniente planteado en el estudio.

En lo que respecta al tipo de investigación (Palella & Martins, 2010) se describe el tipo de investigación como la clase de estudio que se va a realizar. Es por esta razón que el tipo de estudio es de Campo, el cual consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados o de la realidad donde ocurren los hechos sin modificar, ni manipular ninguna variable, siendo entonces de tipo No Experimental, De campo, debido a que no se alteran las condiciones existentes. Cabe destacar, que la presente investigación está enmarcada dentro de la investigación de campo, No Experimental previamente especificada, debido a que los datos obtenidos mediante el contacto directo con la obtención de las imágenes satelitales, el procesamiento de las mismas serán comparados directamente para establecer sus posibles relaciones.

Tipo de Investigación

La presente investigación, se encuentra sustentada en una investigación Descriptiva-Exploratoria, que de acuerdo a la definición de los diseños transaccionales descriptivos tienen como objetivo indagar la incidencia de las modalidades o niveles de una o más variables en una población. El procedimiento consiste en ubicar en una o diversas variables a un grupo de personas u otros seres vivos, objetos, situaciones, contextos, fenómenos, comunidades; y así proporcionar su descripción. Son, por tanto, estudios puramente descriptivos y cuando establecen hipótesis, estas son también descriptivas (de pronóstico de una cifra o valores) (Hernández, Fernández & Sampieri, 2010). Es por tanto que la presente investigación tiene un Diseño No Experimental de tipo Descriptivo.

Nivel de Investigación

El presente estudio, es de tipo proyectivo, dado que Palella y Martins (2010) lo establecen como “Aquel que intenta proponer soluciones determinadas. Implica explorar, describir, explicar y proponer alternativas de cambio, y no necesariamente ejecutar la propuesta”. En relación con lo mencionado se podría decir que se aplicaría a todas aquellas investigaciones donde se incluye la propuesta o el diseño dirigidos a cubrir necesidades determinadas a través de otros conocimientos. Siendo entonces el termino proyectivo referente a un proyecto o aproximación.

Población

Con respecto a la Población (N), Fidias Arias (2006), la establece en términos de objetivo, como un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para las cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación, en este sentido el autor a su vez define como población Finita a la agrupación en la que se conoce la cantidad de unidades que la integran, donde además existe un registro documental de dichas unidades. Por consiguiente, en la presenta investigación se pretende trabajar con un área de estudio delimitada

geográficamente por los límites que conforman el estado Aragua, a su vez la base de datos existente en los satélites para descarga de imágenes se realizó mediante la elección de las imágenes para cada año de estudio y poder así obtener los valores de las variables a determinar.

En este sentido la población de imágenes disponibles para el área total del estado Aragua está determinada por el grupo de imágenes de acuerdo al Path/Row correspondiente a las Fila 04/53. Siendo la población definida por 305 imágenes disponibles en la base de datos LANDSAT para la Fila 04/53 en la escala temporal a utilizar desde el año 1990 hasta 2018.

Tabla N° 2: Población asociada a imágenes satelitales disponibles del estado Carabobo durante los años 1990-2018.

PATH / ROW 04/53

305 IMÁGENES DISPONIBLES

Muestra

La muestra se puede definir en esencia, como un subgrupo de la población. Siendo un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población (Hernández, Fernández & Sampieri, 2010). En este mismo orden de ideas, también Fidias Arias (2006) define la muestra como la porción de la población que se tomara para realizar el estudio, la cual define como un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible.

En la presente investigación la muestra será definida de acuerdo a una selección no probabilística intencionada, debido a que las imágenes a seleccionar para el procesamiento serán con frecuencias de cada 10 años, con la intención de ver los cambios producidos en el estado de la mano al crecimiento poblacional

registrado por el INE posterior a los años 1961, en el área correspondiente del Estado Aragua; lo que arroja una muestra de 4 imágenes para cada año de estudio.

Tabla N° 3: Relación Población/Muestra asociada a imágenes satelitales disponibles del estado Carabobo durante los años 1990-2018.

| RELACIÓN | PATH/ROW 04/53 |
|-----------|--|
| POBLACIÓN | 335 imágenes |
| MUESTRA | 4 imágenes (1990, 2001, 2015, 2018) |

Técnicas e Instrumentos de Recolección de la Información

De acuerdo a lo planteado por Brito (2003), se hace inherente dejar claro que la técnica y el instrumento de recolección de datos no son lo mismo. El autor plantea que las técnicas son aquellas que permiten obtener información de fuentes primarias y secundarias (p.50). En este mismo orden de ideas, Sabino (2002), define que “un instrumento de recolección de datos es, en un principio, cualquier recurso del que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información”. (p.143).

En este sentido, en base a los recursos utilizados en la presente investigación, una de las técnicas que se utilizan es la revisión documental, que consiste en buscar información bibliográfica o documentos electrónicos en general para sustentar y orientar el fenómeno objeto de estudio. Dicha técnica según Hurtado (2008): "en la cual se recurre a la información escrita, ya sea bajo la forma de datos que pueden sido productos de mediciones hechas por otros, o como textos que en sí mismo constituyen los eventos de estudio" (p. 427). También, se empleará la técnica de observación directa, la cual Palella y Martins (2010): "directa consiste en el estudio de la situación problemática en el momento mismo de su ocurrencia, mediante el uso de sus sentidos, el resultado de estas observaciones el investigador

deberá someterlos a su interpretación y análisis para poder formular el problema planteado" (p. 126).

Es por ello que el instrumento que emplea el investigador para anotar las observaciones será una Tabla de registro en Excel, en la cual se registrará la información de las imágenes seleccionadas con fecha de acuerdo al año y el Path/Row a utilizar, el avance en el procesamiento de las mismas y generar los valores necesarios para ser introducidos en los modelos matemáticos. Otra herramienta utilizar es los software SIG (ARC GIS, ENVI, Erdas Imagine).

Análisis de Datos

De acuerdo con Tamayo y Tamayo M. (2012) "...una vez recopilados los datos por los instrumentos diseñados para este fin, es necesario procesarlos, es decir, modelarlos matemáticamente, ya que la cuantificación y su tratamiento estadístico permitirán llegar a conclusiones". (p.187) En la presente investigación, los datos obtenidos serán tabulados y luego representados en forma gráfica para evaluar los índices biofísicos del estado Aragua y sus cambios a través del tiempo mediante los procedimientos de la investigación, los cuales se rigen por los objetivos específicos planteados en la misma y como a través de estos se logran obtener los resultados.

Fases de la Investigación

De acuerdo a Fidias (2006) el proceso de la investigación es un proceso dirigido a la solución de problemas del saber, mediante la obtención y producción de nuevos conocimientos; en este sentido se pretende desarrollar la investigación en cinco (5) fases las cuales están estrechamente relacionadas con los objetivos trazados para dar respuesta a la problemática planteada. Dichas fases se describen a continuación:

Fase I: Obtención de las imágenes satelitales y soporte técnico inicial: En esta fase se deben ubicar las imágenes satelitales que serán utilizadas para el inicio de la investigación. Luego de ser descargadas y se tenga un respaldo de las mismas, se deben instalar los programas y softwares a ser utilizados para el procesamiento inicial de las imágenes solicitadas.

Fase II: Procesamiento inicial de las imágenes a través de SIG: Durante esta fase, se deberán procesar todas las imágenes a ser utilizadas con el fin de obtener los raster a utilizar para el desarrollo de los mapas que serán generados gracias a la información recabada del análisis espectral de las imágenes a través del SIG.

Fase III: Estimación de Índices de Vegetación: Con el procesamiento de las imágenes a utilizar para fines de la investigación, se podrán medir los parámetros ambientales establecidos para los alcances de la investigación a través de herramientas de SIG. Se establecerán los valores para cada índice.

Fase IV: Elaboración de mapas de usos de la tierra y cobertura terrestre: Posterior al procesamiento de todas las imágenes, se procederá a elaborar mapas de distribución de usos de la tierra en el estado Carabobo, con mayor énfasis en las zonas que presenten mayor potencial para corredores ecológicos.

Fase V: Analizar los índices de vegetación y la distribución de usos de la tierra de los datos recabados de toda la información procesada, mapeada y delimitada; se compararan los mismos y la posible influencia que tienen entre sí para el análisis de los parámetros biofísicos en el Estado Aragua – Venezuela.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El propósito del análisis de los resultados es poder generar conclusiones idóneas para el análisis de los parámetros biofísicos en el Estado Aragua – Venezuela, lo que permitirá generar las conclusiones y recomendaciones futuras. De acuerdo a cada objetivo planteado se obtienen los siguientes resultados:

Seleccionar imágenes satelitales para el estudio

Se procedió al análisis y estudio de toda la base de datos de *Landsat Collection* disponibles en el portal Web del USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), dichos resultados arrojan 305 imágenes para el Path 4, Row 53. De tales imágenes se descartaron aquellas que tenían mayor contenido de nubosidad, de las disponibles con potencial para poder ser analizadas se obtuvieron 4 imágenes, las cuales corresponden a una imagen por año de estudio 1990, 2001, 2015 y 2018 respectivamente, que abarcan la zona geográfica del estado Aragua para cada año.

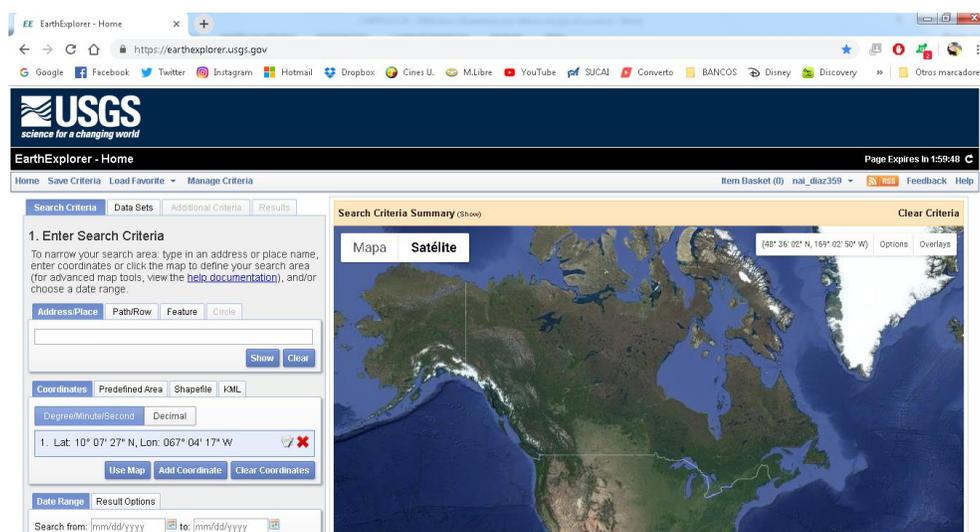


Figura N° 3: Portal Web USGS para descarga de imágenes.

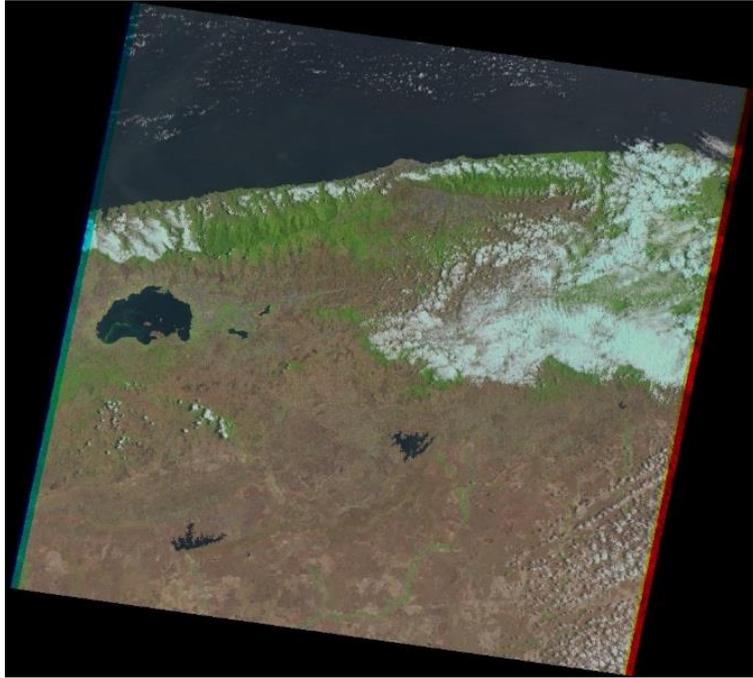


Figura N° 4: Imagen Landsat (L5) del 09/Abril/1990, Path 04, Row 53.

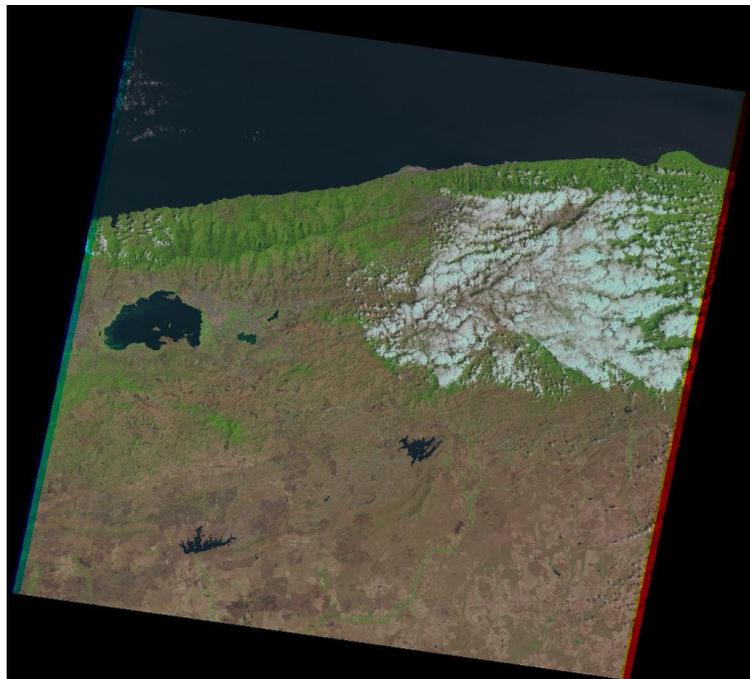


Figura N° 5: Imagen Landsat (L5) del 18/Febrero/2001, Path 04, Row 53.

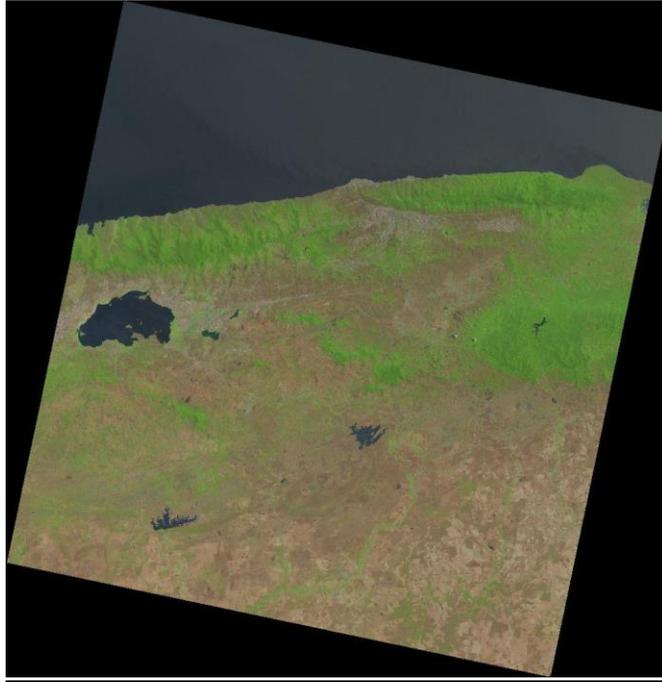


Figura N° 6: Imagen Landsat (L8) del 30/Abril/2015, Path 04, Row 53.



Figura N° 7: Imagen Landsat (L8) del 15/Octubre/2018, Path 04, Row 53.

Tabla N° 4: Muestra de imágenes satelitales seleccionadas y descargadas del estado Carabobo.

| AÑO | | IMAGEN | FECHA | SUN ELEVATION | SOLAR ZENITH | MTL |
|-----|------|-------------------------------|------------|---------------|--------------|--|
| 1 | 1990 | LT05_L1TP_00 4053_19900409 | 09/04/1990 | 54,5 | 35,5 | ..\IMAGENES SATELITES\ MTL IMAGENES\LT05_L1TP_004053_19900409_20170131_01_T1_MTL.txt |
| 2 | 2001 | LT05_L1TP_00 4053_20010218 | 18/02/2001 | 49,9 | 40,1 | ..\IMAGENES SATELITES\ MTL IMAGENES\LT05_L1TP_004053_20010218_20161212_01_T1_MTL.txt |
| 3 | 2015 | LC08_L1TP_00 4053_20150430 | 30/04/2015 | 65,2 | 24,8 | ..\IMAGENES SATELITES\ MTL IMAGENES\LC08_L1TP_004053_20150430_20170409_01_T1_MTL.txt |
| 4 | 2018 | LC08_L1TP_00 4053_20181015 | 15/10/2018 | 61,2 | 28,8 | ..\IMAGENES SATELITES\ MTL IMAGENES\LC08_L1TP_004053_20181015_20181030_01_T1_MTL.txt |

Realizar el procesamiento preliminar de las imágenes satelitales a usar en el estudio.

Para el procesamiento preliminar de las imágenes que fueron seleccionadas y posteriormente descaradas, se utilizaron dos softwares GIS los cuales son ERDAS Imagine y ARC Gis 10.0. Tales imágenes debían pasar por los procesos de Stack, Subset, ATCOR y Expor-Data en formato compatible. Las 4 imágenes seleccionadas, corresponden a los años 1990, 2001, 2015 y 2018. Dichos procedimientos arrojaron los siguientes resultados:

Stack

Siendo el procedimiento preliminar básico de toda imagen cruda el apilamiento de las bandas que componen la imagen multi-espectral. Para tal fin se utilizó el programar ERDAS Imagine. Donde se realizó el stack a las 4 imágenes descargadas. Las Cuatro (4) imágenes Stack, correspondiente a los 4 años de estudio.

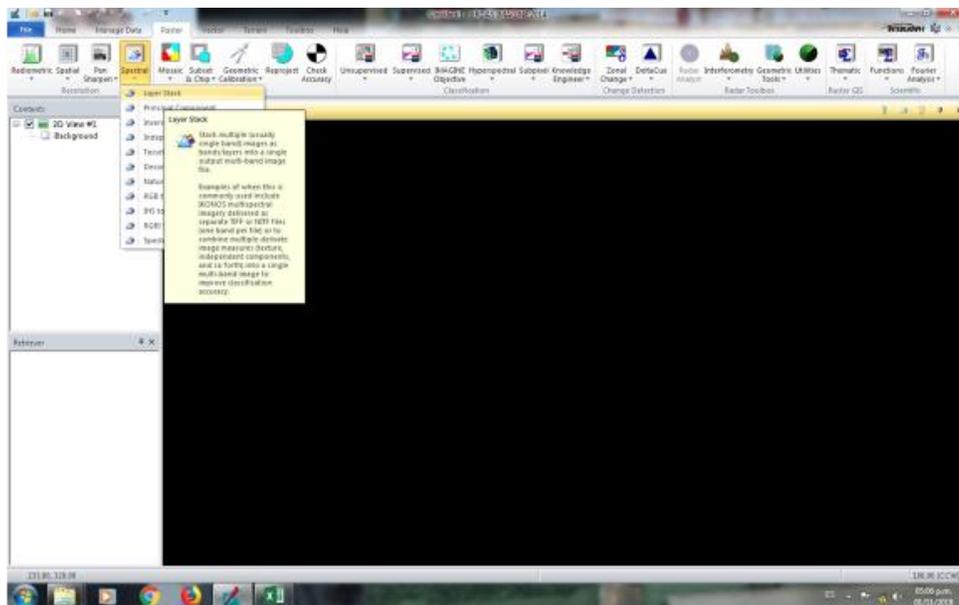


Figura N° 8: Pre-procesamiento Layer Stack en ERDAS Imagine 2014.

Subset

La creación de sub-escenas para cada imagen permitió procesar las imágenes a mayor velocidad, al ser reducidas solo al área de interés. Tal procesamiento fue realizado en el programa ERDAS Imagine. Donde se generaron 4 imágenes de las sub-escenas correspondientes a los años de estudio a partir de las imágenes Stack se generaron los Subset respectivamente y la definición de la escena delimitada por el área geográfica del Estado Aragua en un archivo AOI que fue generado previamente.

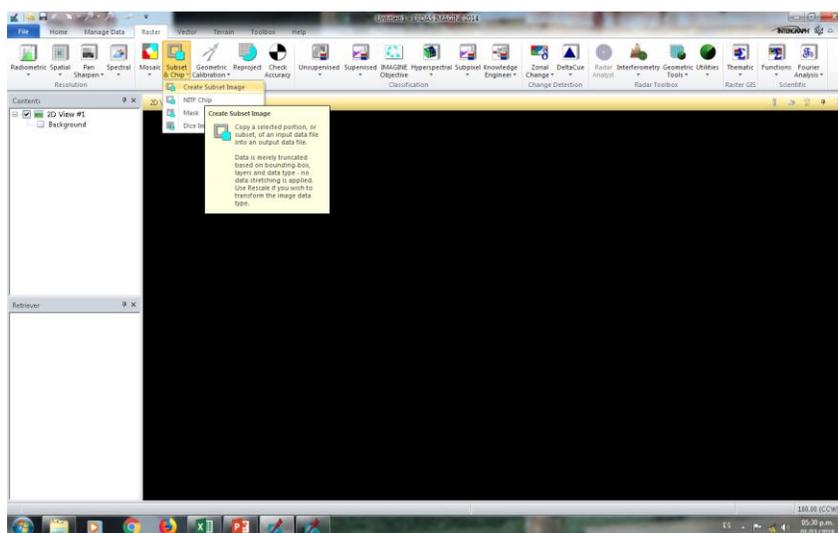


Figura N° 9: Pre-procesamiento Create Subset en ERDAS Imagine 2014.

ATCOR

La corrección atmosférica es un módulo en el programa ERDAS Imagine que permite corregir algunas fallas que las imágenes puedan tener desde la obtención en el satélite para su procesamiento, estas imágenes son corregidas por el ATCOR de acuerdo a su día de adquisición, es por ello que cada imagen debe ser corregida independientemente, así como los datos que deben ingresarse en el módulo, los cuales son obtenidos del archivo MTL de cada imagen.

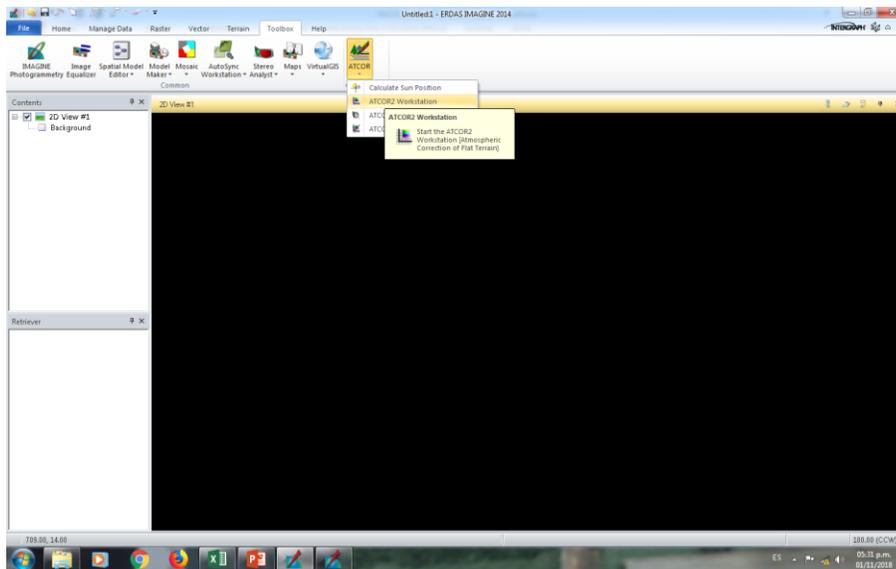


Figura N° 10: Pre-procesamiento ATCOR en ERDAS Imagine 2014.

Export-Data

Posterior a la generación de la imagen mosaica, está la salida presenta un formato Imagine (.img) se debe exportar el mapa en formato BigGeoTiff en el software ERDAS Imagine 2014 para posteriormente utilizar el formato Tiff (.tiff) para la Clasificación de Usos de la Tierra en ENVI.

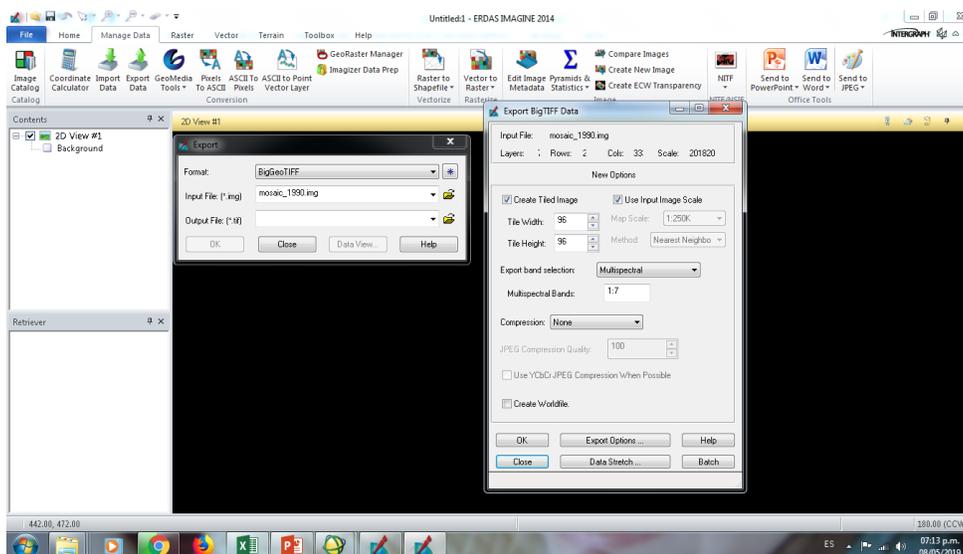
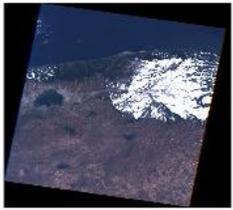
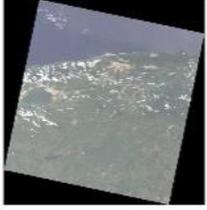


Figura N° 11: Pre-Procesamiento Export-Data en ERDAS Imagine 2014.

Tabla N° 5: Avance de procesamiento preliminar de imágenes seleccionadas para el estudio.

| AÑO | STACK | SUBSET | ATCOR |
|--------|---|--|---|
| 1 1990 |  |  |  |
| 2 2001 |  |  |  |
| 3 2015 |  |  |  |
| 4 2018 |  |  |  |

Estimar índices de vegetación en la escala Espacio-Temporal usando imágenes satelitales del Estado Aragua.

Durante la obtención de los índices de Vegetación en el programa Arc-MAP 10.1 se requirió el uso de la Banda visible Roja y la Banda del Infrarrojo Cercano. De acuerdo a los diferentes satélites para Landsat 5 las bandas 4 y 3, para Landsat Y para el Landsat 8 las Bandas 5 y 4.

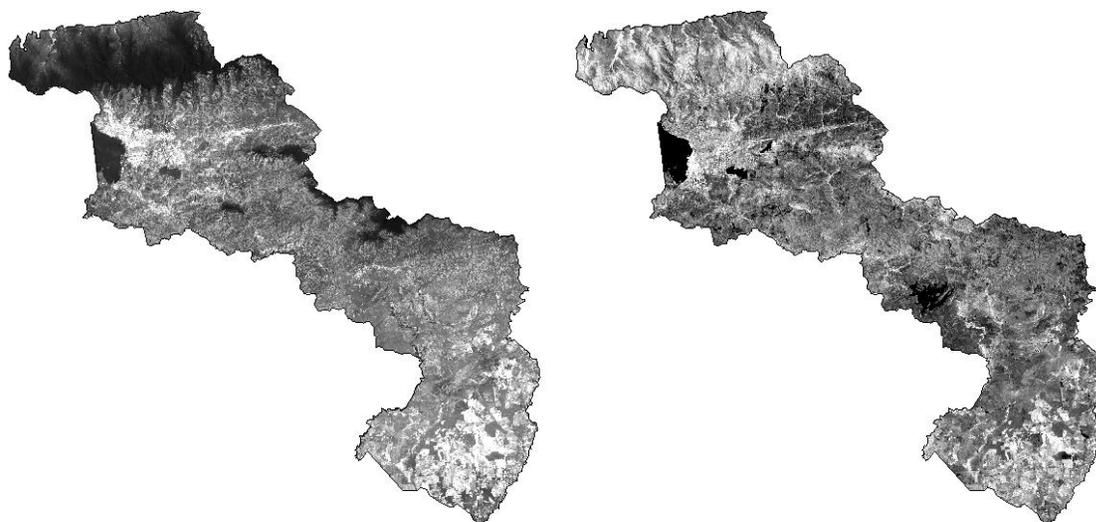


Figura N° 12: Bandas Roja e IR de Imagen Landsat 8 - Año 2015.

Los índices de Vegetación (NDVI, SAVI, LAI) obtenidos fueron generados a partir de la Caja de Herramientas SEBAL. Lo cual permitió exportar 3 mapas por año, correspondiente a cada uno de los índices de vegetación analizados por año de estudio respectivamente.

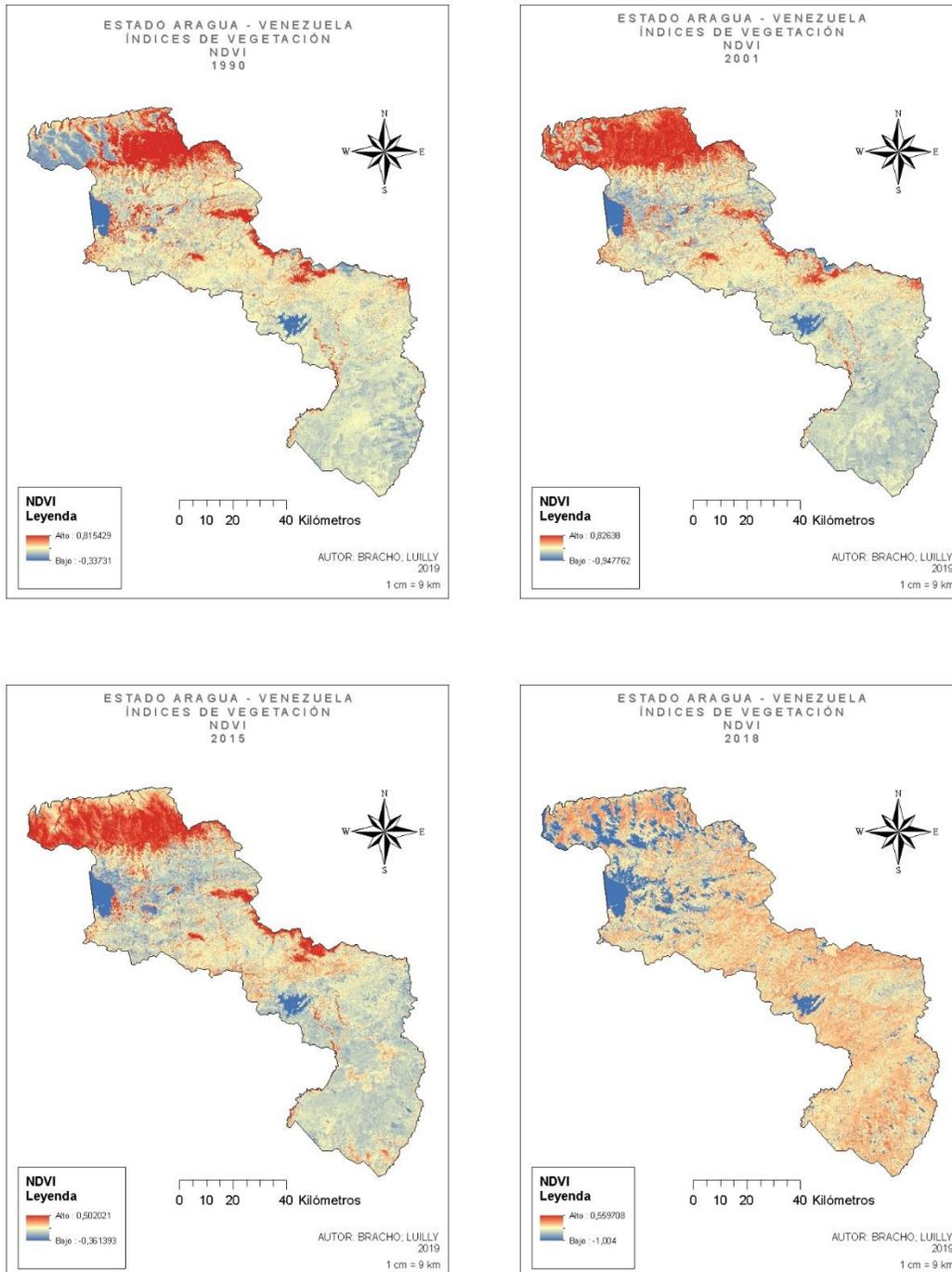


Figura N° 13: Mapas del Estado Aragua - Índice de Vegetación (NDVI) para los Años 1990, 2001, 2015 y 2018.

De acuerdo a lo planteado por Paruelo (2006), el NDVI (Índice de Vegetación Diferenciada Normalizado), es el más utilizado por científicos en todas partes del mundo porque a través de una ecuación simple, permite evaluar el compartamiento espectral de las Bandas Roja (Absorción de clorofila) y el IR Cercano (Folículo de las Hojas). Por lo que valores negativos o cercanos a 0 tendrán relación a zonas no vegetadas, como suelos desnudos o agua, mientras que valores positivos mayores a 0.80 son correspondientes a zonas con gran vegetación o de amplias hojas.

De acuerdo al NDVI para el año 1990, en el Estado Aragua se pueden lograr evidenciar valores desde -0.33 hasta 0.82, lo que evidencia zonas con vegetaciones de estrato alto y vegetación frondosa ubicadas principalmente hacia las zonas norte del estado Aragua (Cordillera de la Costa) y zonas alrededor de la Cuenca del Lago de Valencia, en el resto del estado predominan zonas con valores medios entre 0 y 0.4 lo que identifica zonas de vegetación baja, mientras que en las zonas más urbanizadas como el área correspondiente a la Capital del estado presentan valores por debajo de cero.

Para NDVI en el año 2001, se observa claramente un aumento en los valores de zonas no vegetadas con valores hasta -0.95, como consecuencia del crecimiento poblacional acelerado que presenta el estado Aragua, de acuerdo a datos del INE posteriores a los años post-industrialización. Se mantienen valores en el rango de zonas con vegetación baja y zonas con vegetación alta dispersas, donde se puede resaltar los alrededores del lago de Valencia y la zona correspondiente a la cordillera de la Costa con valores hasta 0.82 lo que manifiesta zonas de vegetación alta en las áreas antes mencionadas.

Para el año 2015, se presenta una disminución considerable en la calidad de la vegetación del estado Aragua, producto de una fuerte sequía y fenómenos

ambientales atmosféricos como el niño y la niña, lo que mermo significativamente los cuerpos de agua así como la vegetación. Igualmente se mantienen las zonas vegetadas alrededor de la cuenca del lago de Valencia y la cordillera de la costa. Las zonas no vegetadas se mantienen en valores no tan bajos con un máximo valor de -0.36, mientras que en la calidad de las zonas vegetadas el máximo valor registrado es de 0.50 lo que manifiesta vegetación media a baja.

En este mismo orden de ideas, la imagen correspondiente a 2018, muestra un crecimiento de las zonas no vegetadas obteniendo valores de -1, donde se asume la fuerte sequía por la que se atravesó en dicho año como consecuencia de tal comportamiento, se muestran zonas de vegetación amplia en los alrededores del lago de Valencia y zonas bajas de la cuenca y en la cordillera de la costa con una leve mejoría en la calidad de la vegetación obteniéndose como máximo valor, 0.55 siendo predominante en el estado las zonas en valores de baja vegetación.

En este sentido, para las imágenes correspondiente a los valores para SAVI; es el Índice de Vegetación ajustado al Suelo, lo que permite la incorporación de una constante para el suelo, lo que permite visualizar en los mapas zonas con vegetación baja, intermedia o alta. En las imágenes analizadas para SAVI correspondiente al año 1990, el estado Aragua presenta a lo largo de todo el territorio una calidad ambiental favorable, obteniendo valores para zonas no vegetadas hasta -0.2 y en zonas donde predominan las vegetaciones entre baja e intermedia las de mayor presencia a lo largo del territorio, siendo escasas las zonas con vegetaciones altas principalmente en la zona norte de la cordillera de la costa, con valores de 0.77, además se observa el área correspondiente al lago de Valencia, con vegetaciones de intermedia a baja en los alrededores de la cuenca.

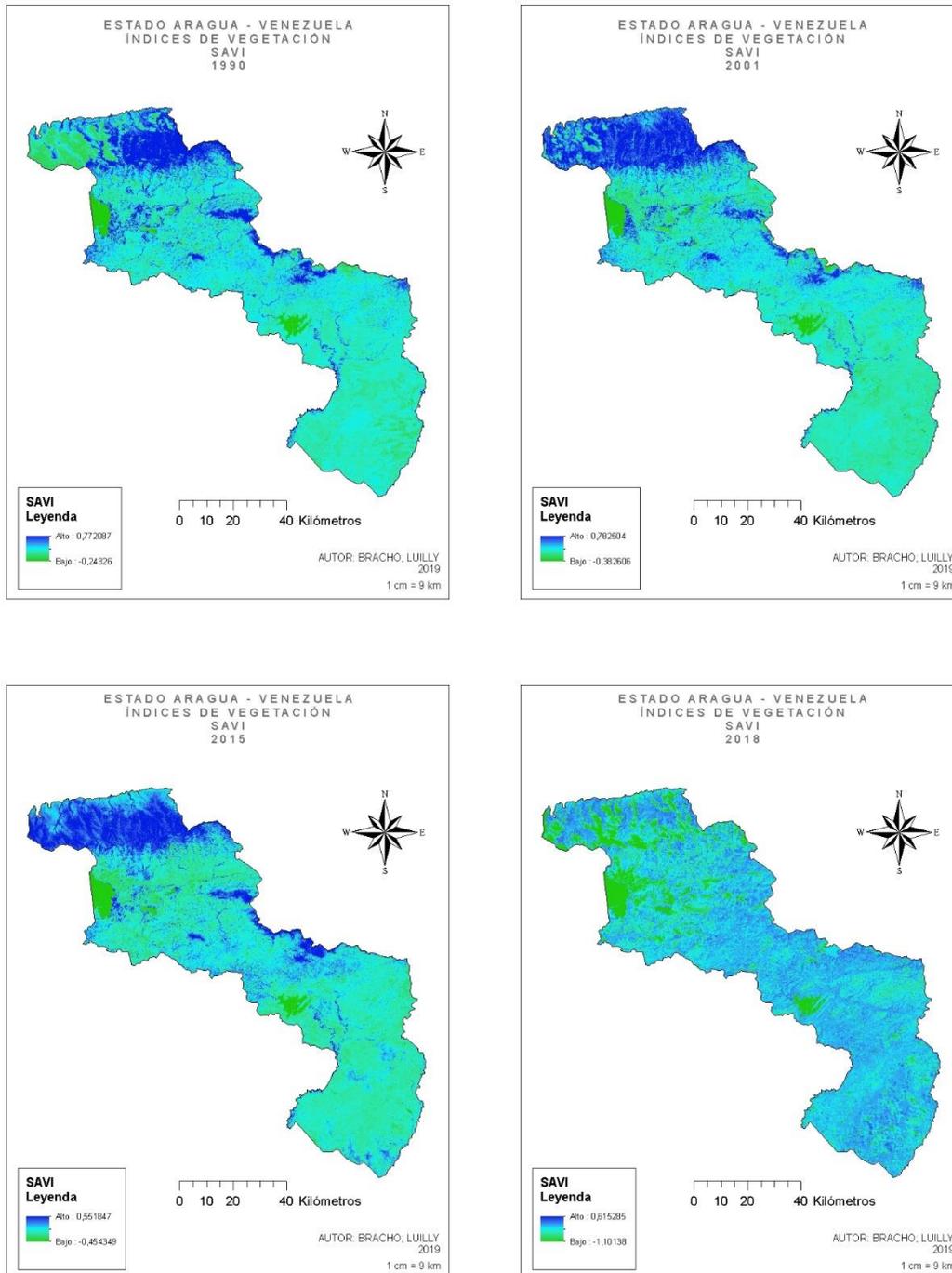


Figura N° 14: Mapas del Estado Aragua - Índice de Vegetación (SAVI) para los Años 1990, 2001, 2015 y 2018.

En el caso de SAVI, para 2001 se muestran valores distribuidos para todos los niveles de vegetación, mostrando valores de vegetación alta hacia las zonas montañosas de la cordillera, y vegetaciones baja y media en las zonas urbanas, se puede mostrar algunas áreas de vegetación alta en los alrededores de la cuenca del lago de Valencia. Para el año 2015 se muestran en zonas estratos medios de vegetación pero en la imagen en general se repite el compartamiento espectral disperso mostrando grandes áreas con vegetaciones altas pero una disminución considerable en la calidad de la vegetación con valores máximos de 0.55.

Para el año 2018, el SAVI muestra zonas de vegetación de intermedia a alta muy dispersa en la zona de la cordillera, pero de menor densidad que en los años anteriores, mientras que para las zonas no vegetadas se muestran mayor distribución y valores de -1. Por lo que en el año 2018 la calidad de la vegetación en el Estado Aragua disminuyó considerablemente.

Con relación al índice LAI, es un índice utilizado para el área foliar de las zonas de estudio, para el año 1990 se observa que LAI mantiene rangos de escala de área foliar de baja a nula, distribuidas totalmente por todo el estado Aragua, en el año, se muestra un crecimiento en el área foliar principalmente en las zonas de la cordillera de la costa llegando a sus valores máximos y alrededores del lago de Valencia, así mismo para 2001 se muestra un leve crecimiento en las áreas foliares de vegetación marcadas principalmente en las mismas áreas que para 1990.

Con relación a LAI para 2015 y 2018, se observan zonas de crecimiento foliar entre medio y nulo en las zonas urbanas del estado Aragua principalmente. En los alrededores del lago y la cordillera de la costa se observan áreas de crecimiento foliar alto, así como puntos de crecimiento sobre el lago de Valencia.

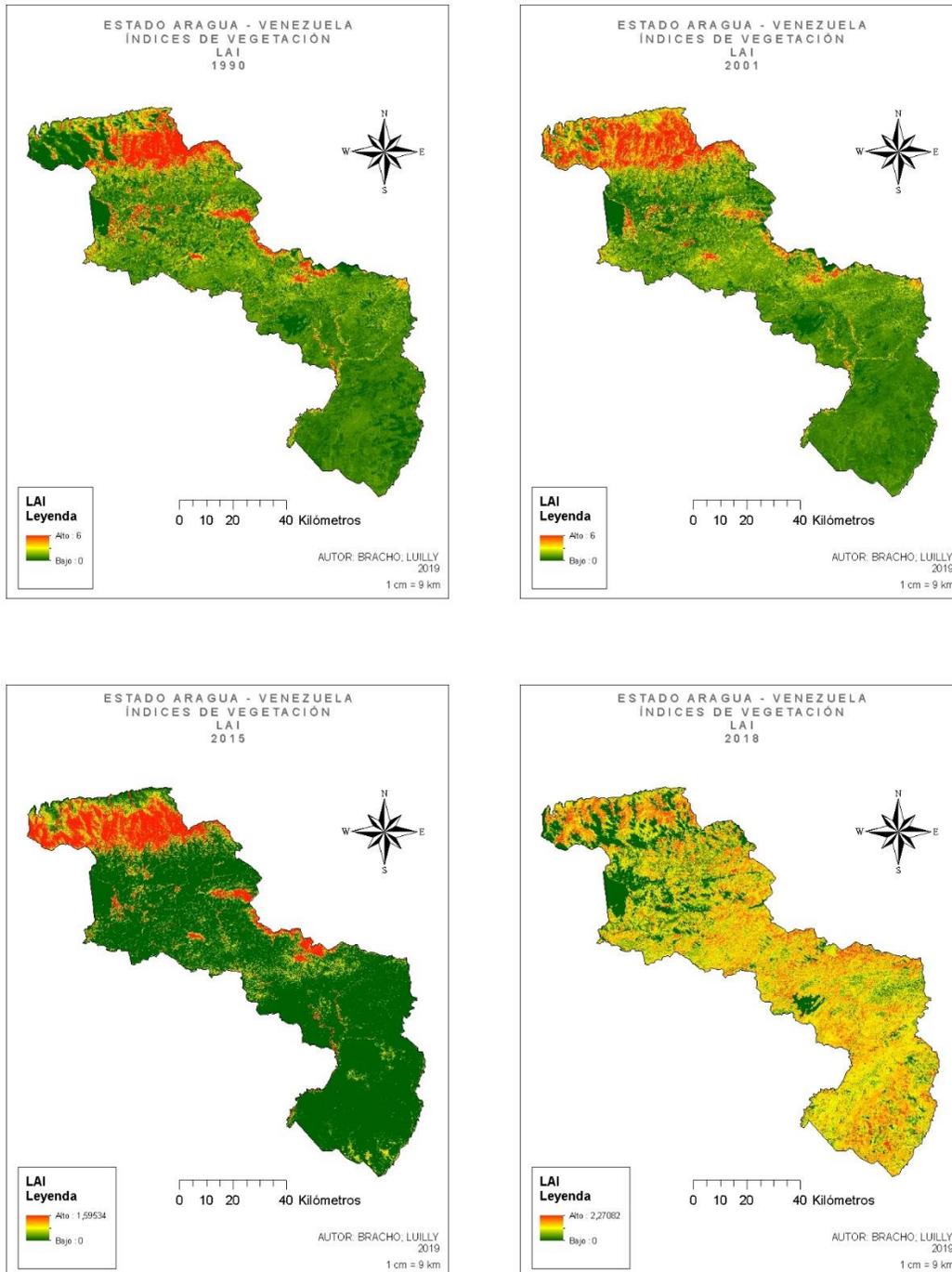


Figura N° 15: Mapas del Estado Aragua - Índice de Vegetación (LAI) para los Años 1990, 2001, 2015 y 2018.

Elaborar mapas de clasificación de usos y cobertura terrestre del Estado Aragua.

Con el uso del Software ENVI 5.0 se obtuvieron 4 imágenes clasificadas de acuerdo a la cobertura del suelo en 6 tipos de coberturas distintivas (Agua, Vegetación, Zonas Urbanas, Suelo Degradado, Nubes y Sombras, los mapas generados se muestran a continuación así como las estadísticas generadas por el mismo. Los mapas del Estado Aragua muestran como los pixeles identificados por el software para cada zona son acordes, lo que permite evidenciar como los usos de la tierra han ido variando a través de los años desde 1990 hasta 2018, con la clasificación de vegetación se observa como se ha mantenido fluctuante de manera decreciente en los años de estudio, dichos valores se reflejan en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 6: Distribución por Área de la Clasificación por Usos de la Tierra desde 1990 a 2018, según los años de estudio en el Estado Aragua – Venezuela.

| CLASIFICACIÓN / AÑO | 1990 | 2001 | 2015 | 2018 |
|------------------------------|------|------|------|------|
| VEGETACIÓN | 391 | 778 | 119 | 134 |
| ZONAS URBANAS | 1376 | 2150 | 2752 | 2851 |
| SUELO DEGRADADO | 4996 | 3865 | 3458 | 2205 |
| CUERPOS DE AGUA | 133 | 139 | 571 | 1642 |
| NUBES | 286 | 216 | 309 | 341 |
| SOMBRAS | 26 | 60 | 0 | 36 |
| ÁREA (KM²) | 7208 | 7208 | 7208 | 7208 |

De acuerdo a los datos generados en los pixeles, se extrajo la tabla de atributos generada por Arc-GIS 10.1 para obtener el área en Km² para cada clasificación. Lo que permite generar la siguiente gráfica.

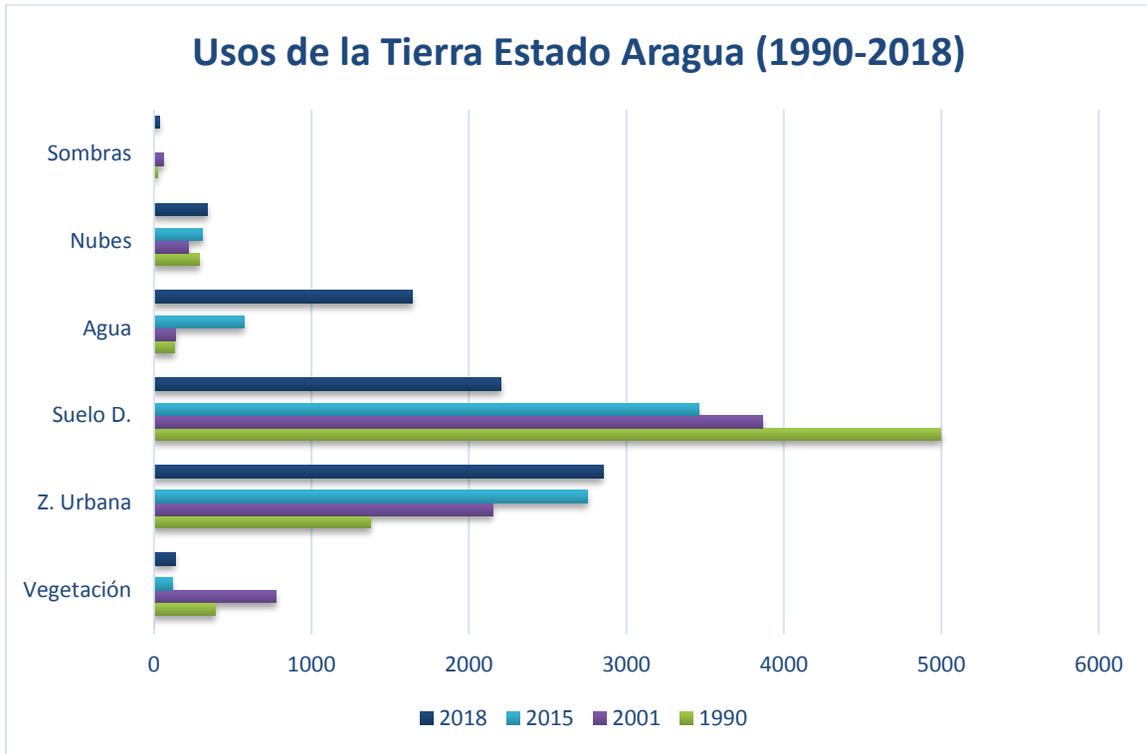


Figura N° 16: Variación en los Usos de la Tierra en el Estado Aragua para los Años 1990, 2001, 2015 y 2018.

A partir de la Figura N° 16 y el Cuadro N° 8 los valores reflejados en ambos permiten observar el comportamiento de los usos de la tierra desde 1990 hasta 2018. En la clasificación vegetación se observa un ligero aumento para 2001 en relación al valor de 1990, pero a partir de allí comienza a disminuir hasta 2018; pero posterior a estos años se ve una considerable degradación del mismo. Para las zonas urbanas se observa un constante crecimiento desde 1990 hasta 2018 lo que va de manera consecuente al crecimiento poblacional expresado estadísticamente posterior a los años de industrialización de la región central del país.

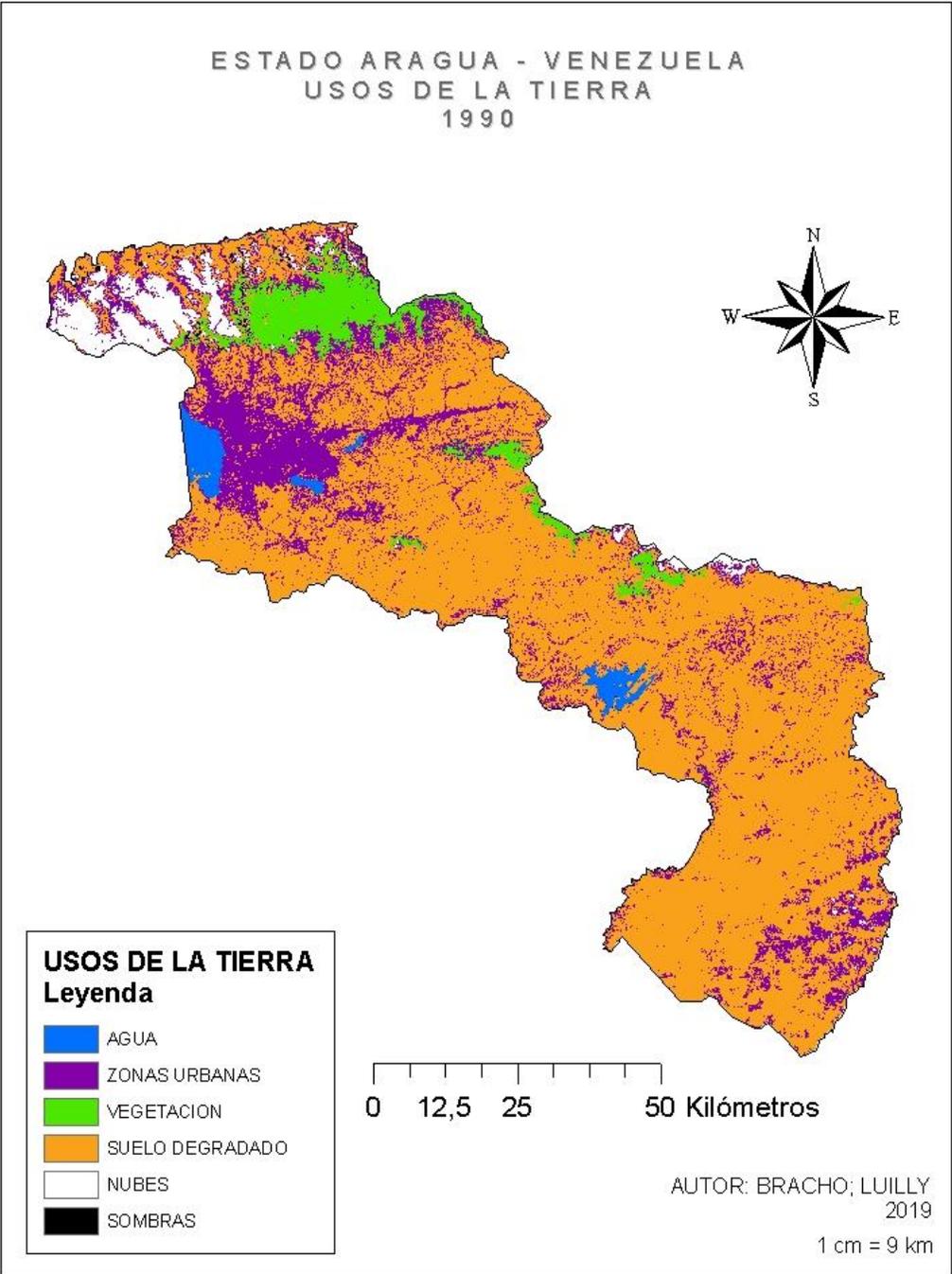


Figura N° 17: Mapa de Usos de la Tierra, Estado Aragua para el Año 1990.

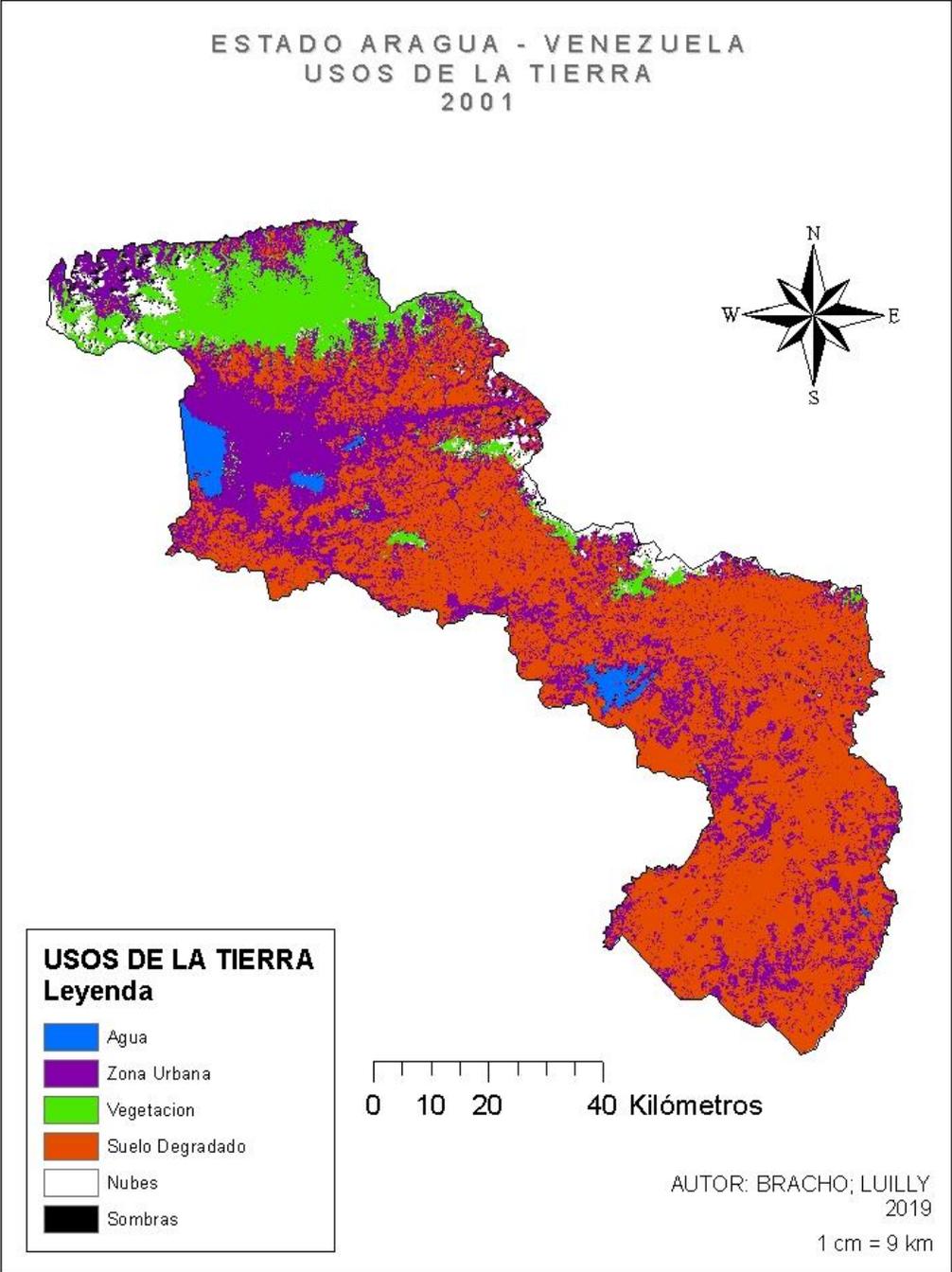


Figura N° 18: Mapa de Usos de la Tierra, Estado Aragua para el Año 2001.

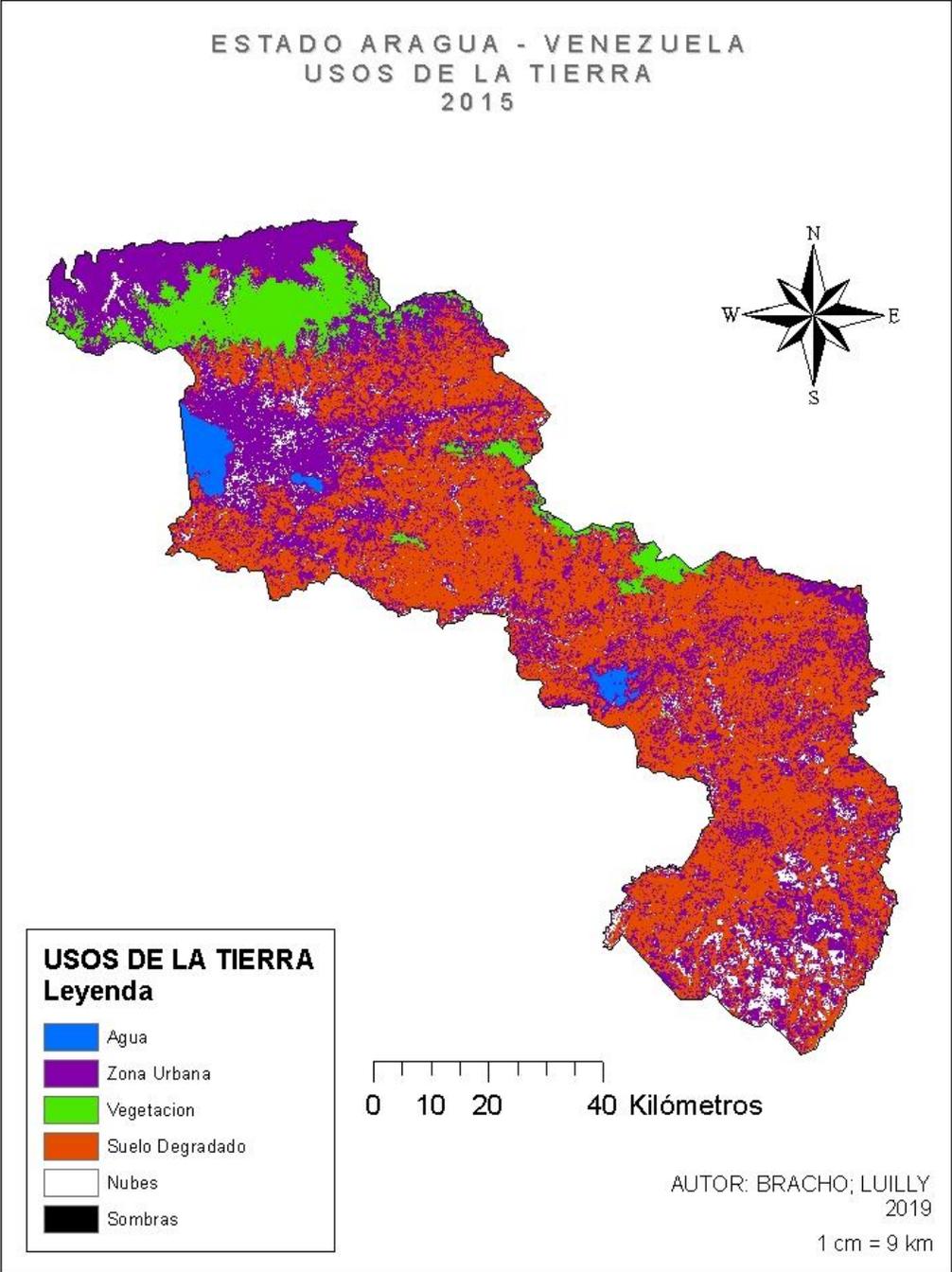


Figura N° 19: Mapa de Usos de la Tierra, Estado Aragua para el Año 2015.

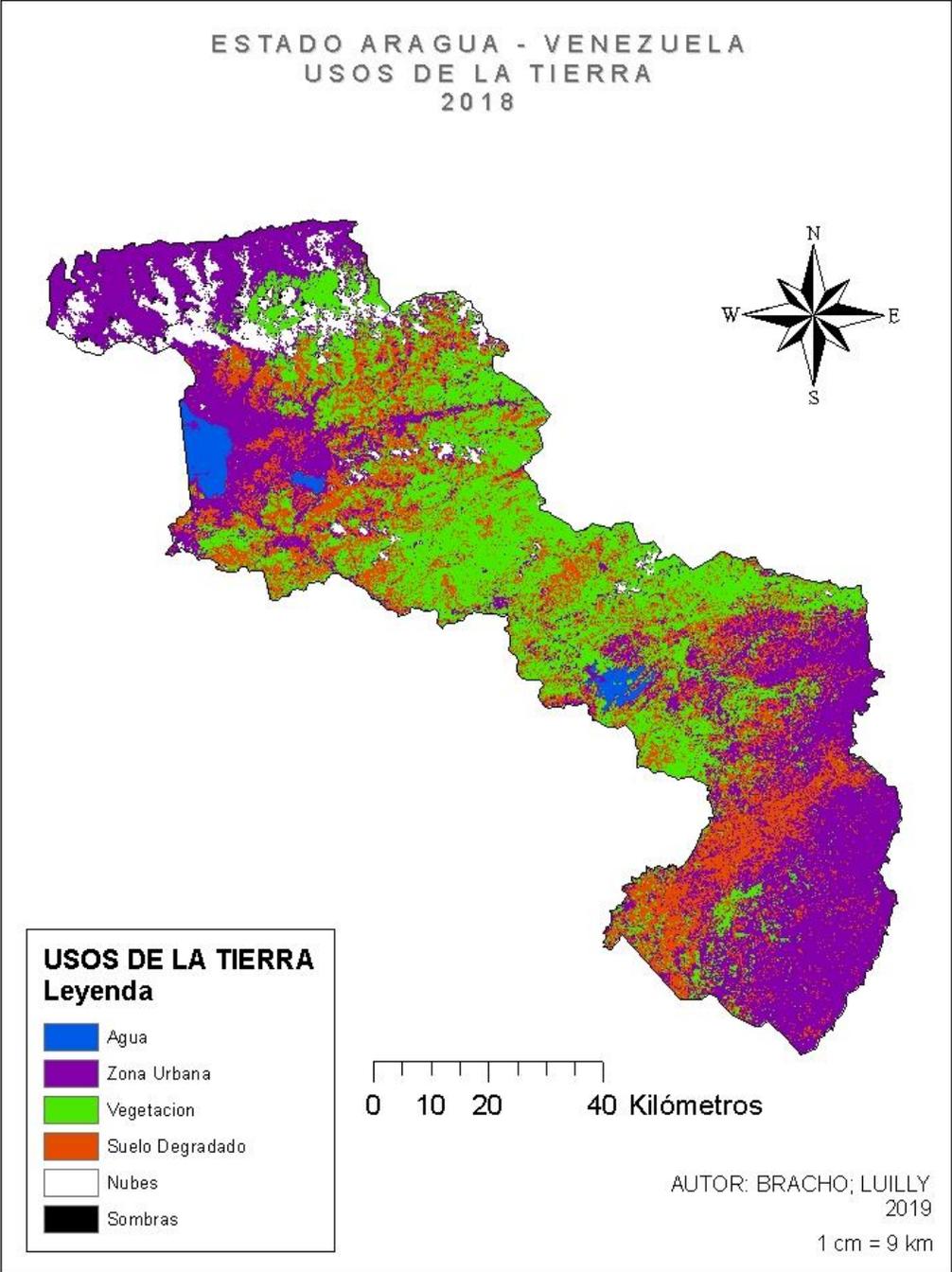


Figura N° 20: Mapa de Usos de la Tierra, Estado Aragua para el Año 2018.

En este mismo orden de ideas, los valores dados para Suelo Degradado demuestran una variación mínima entre sus valores para los años de estudio, donde disminuye notoriamente mientras que va en aumento las zonas urbanas, lo que demuestra que estos suelos degradados identificados fueron transformándose en zonas urbanas. Con relación a los Cuerpos de Agua, se mantienen valores similares en todos los años analizados, siendo solo el caso particular para 2018 que muestra un valor mucho más alto en relación a los años estudiados, pudiendo hacer referencia a que la reflectancia fue tomada con mayor claridad sobre los cuerpos de agua para dicho año, en especial en la zona sobre el lago de Valencia el cual venía mostrando clasificaciones diferentes, lo que evidencia la eutrofización y sedimentación severa presentada en el lago de Valencia.

Los valores para nubes y sombras no tienen representación en cuanto a los usos de la tierra, pero deben delimitarse para diferenciar dichos píxeles en el software para su clasificación. También pueden servir de referencia para la calidad de la imagen descargada por la baja densidad de nubosidad lo que se traduce en pocas sombras como fue el caso de la imagen correspondiente a 2015 que para el área del Estado Aragua no presenta nubosidad.

Análisis espacio – temporal de parámetros biofísicos en el estado Aragua usando imágenes satelitales.

Las variables mostradas entre los índices de vegetación pueden ser comparables con los datos obtenidos a partir de la clasificación de usos de la tierra, denotando principalmente las áreas prioritarias para el Estado Aragua donde la calidad de los parámetros biofísicos cuantificados sea más importante y aquellas áreas que requieren atención. Con los datos obtenidos a partir de la imagen raster

de usos de la tierra y la extracción por puntos muestreados en toda el área del Estado Aragua se generaron los siguientes resultados.

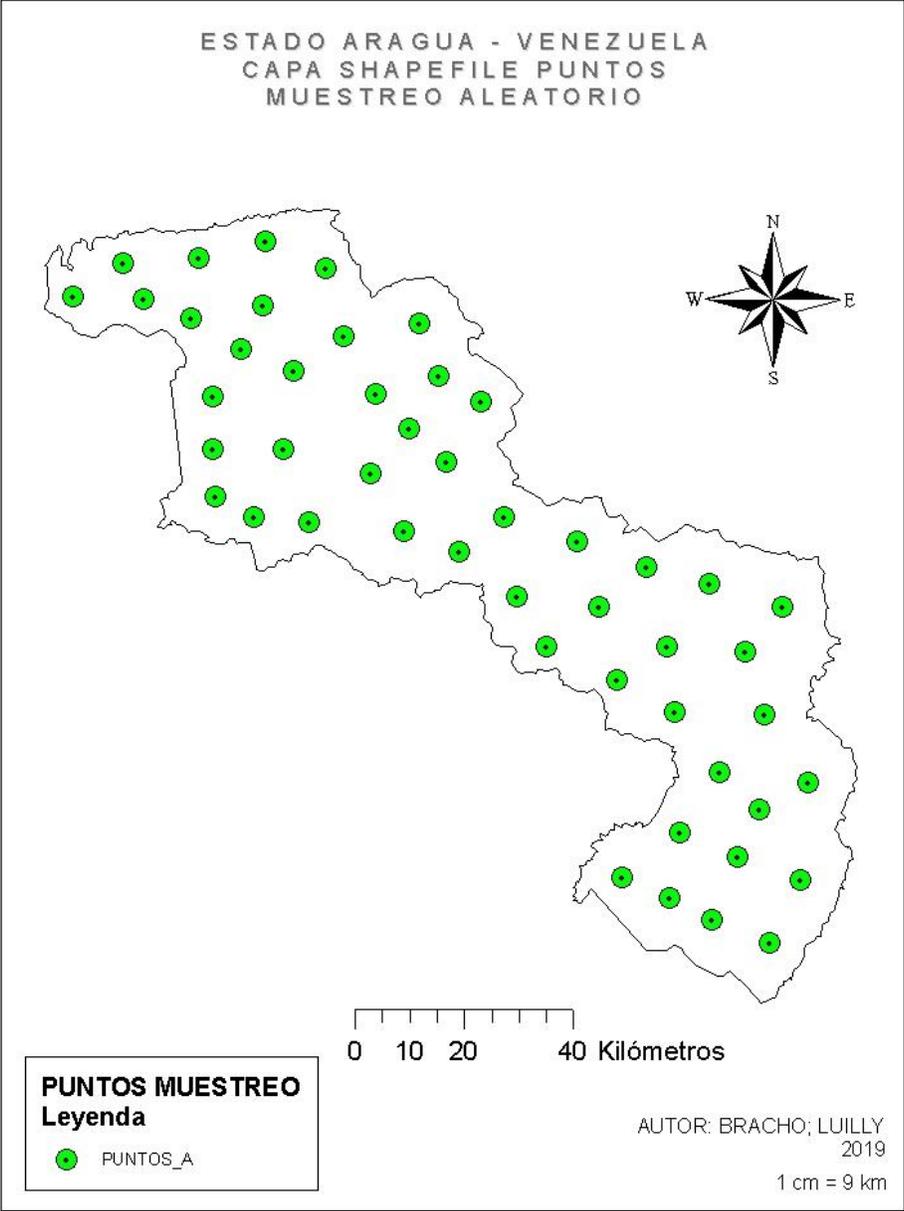


Figura N° 21: Mapa de distribución de puntos de muestreo del Estado Aragua mediante modelo Shapefile de Puntos (49 Puntos).

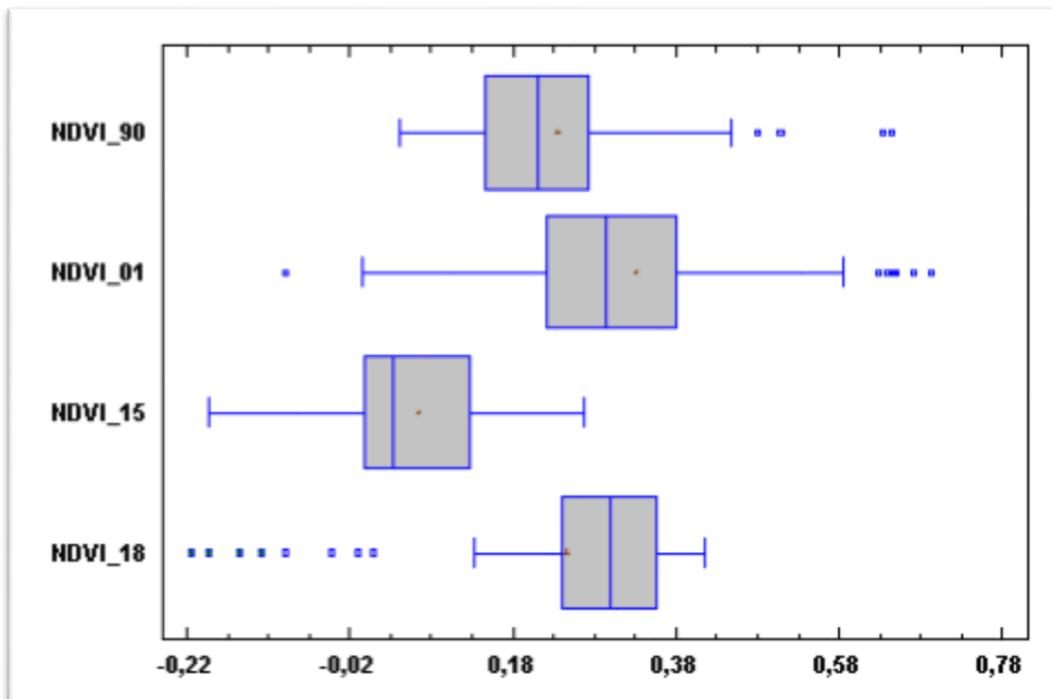


Figura N° 22: Gráfica Estadística de Cajas y Bigotes para NDVI del Estado Aragua (1990-2018). Fuente: Statgraphics Centurion XV.I

Se analizaron 49 puntos por cada año correspondiente para NDVI para los años 1990, 2001, 2015 y 2018; lo que da un total de muestras de 196 puntos. Los valores para mínimo y máximo muestreados para dicho índice son -0,22 y 0,69 respectivamente. El valor promediado para NDVI en 1990 es de 0,24 lo que permite evidenciar que de acuerdo a las muestras tomadas el estado Aragua presenta baja densidad de vegetación, para 2001 el promedio sube a 0,33 lo que demuestra que hubo pequeñas mejorías en la vegetación predominante del estado, para 2015 baja a 0,07 lo que manifiesta los daños severos causados en la vegetación durante dicha temporada producto de la sequía crítica que atravesó el país, se mantiene un rango bajo también de crecimiento en la vegetación para 2018 de 0,25 por lo que hubo un incremento en el crecimiento de la vegetación del Estado Aragua pero sigue siendo en líneas generales de baja a media la vegetación dominante en todos los años de

estudio con una media general de 0.22 para NDVI. Con una desviación estándar de 0.18 y un coeficiente de variación de 81%.

Cuadro N° 7: Resumen Estadístico para NDVI Estimado por Puntos de Muestreo del Estado Aragua en los Años 1990, 2001, 2015 y 2018.

| MUESTRA | RECuento | PROMEDIO | DESVIACIÓN ESTÁNDAR | COEFICIENTE DE VARIACIÓN | MÍN | MÁX |
|--------------|------------|-----------------|---------------------|--------------------------|--------------|-------------|
| NDVI_90 | 49 | 0,235538 | 0,131709 | 55,9185% | 0,04 | 0,65 |
| NDVI_01 | 49 | 0,332198 | 0,179424 | 54,0113% | -0,10 | 0,69 |
| NDVI_15 | 49 | 0,0655689 | 0,111924 | 170,697% | -0,19 | 0,26 |
| NDVI_18 | 49 | 0,24707 | 0,169965 | 68,7922% | -0,22 | 0,41 |
| Total | 196 | 0,220093 | 0,178297 | 81,0097% | -0,22 | 0,69 |

(Fuente: Statgraphics Centurion XV.I)

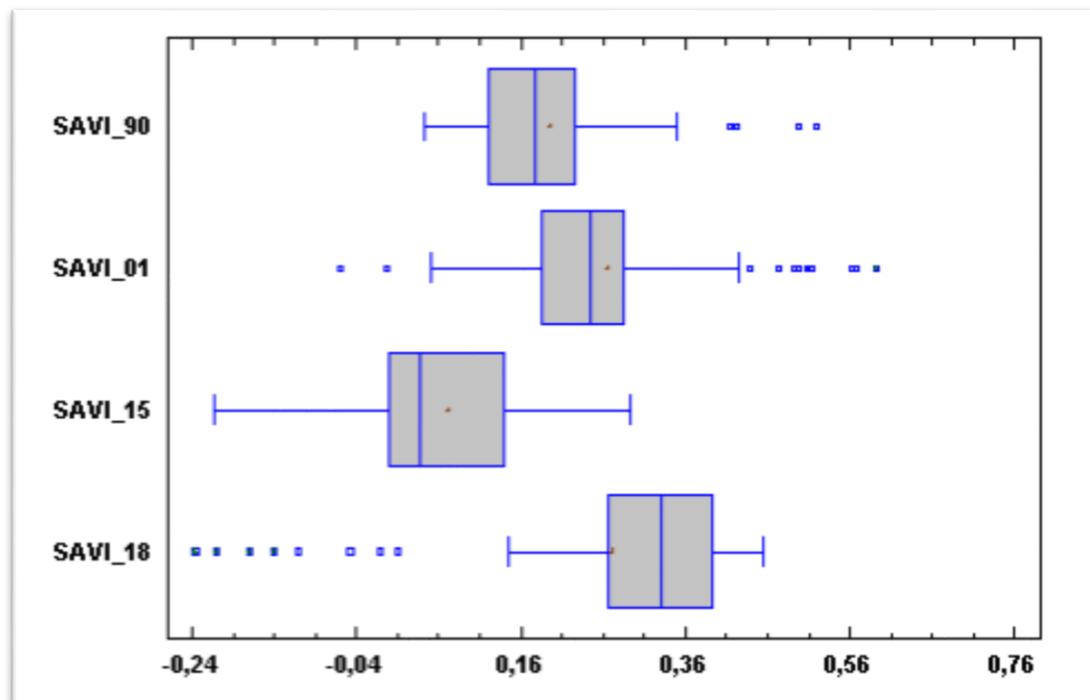


Figura N° 23: Gráfica Estadística de Cajas y Bigotes para SAVI del Estado Aragua (1990-2018). Fuente: Statgraphics Centurion XV.I

Cuadro N° 8: Resumen Estadístico para SAVI Estimado por Puntos de Muestreo del Estado Aragua en los Años 1990, 2001, 2015 y 2018.

| MUESTRA | RECUESTO | PROMEDIO | DESVIACIÓN ESTÁNDAR | COEFICIENTE VARIACIÓN | MÍN | MÁX |
|--------------|------------|-----------------|---------------------|-----------------------|--------------|-------------|
| SAVI_90 | 49 | 0,194694 | 0,107315 | 55,12% | 0,04 | 0,51 |
| SAVI_01 | 49 | 0,266319 | 0,145737 | 54,72% | -0,06 | 0,59 |
| SAVI_15 | 49 | 0,0720535 | 0,122978 | 170,68% | -0,21 | 0,29 |
| SAVI_18 | 49 | 0,271529 | 0,186772 | 68,78% | -0,24 | 0,45 |
| Total | 196 | 0,201149 | 0,163959 | 81,51% | -0,24 | 0,59 |

(Fuente: Statgraphics Centurion XV.I)

En el procesamiento de valores de muestreo correspondientes al índice de vegetación SAVI para los diferentes años de estudio se observó una media similar para los años 2001 y 2018 (0.27 para ambos casos), mientras que los valores más distantes están para 1990 (0.19) y luego 2015 siendo el valor más bajo (0.07). Como valor mínimo y máximo arrojo -0.24 y 0.59 por lo que se mantiene el comportamiento similar que con el NDVI con rangos de vegetación entre media y baja y pocas zonas con vegetaciones altas, principalmente observadas hacia las zonas montañosas (cordillera de la costa). Para los 196 puntos muestreados se obtuvo como promedio 0.20. Con una desviación estándar de 0.16 y un coeficiente de variación de 81.5%.

Cuadro N° 9: Resumen Estadístico para LAI Estimado por Puntos de Muestreo del Estado Aragua en los Años 1990, 2001, 2015 y 2018.

| MUESTRA | RECUESTO | PROMEDIO | DESVIACIÓN ESTÁNDAR | COEFICIENTE DE VARIACIÓN | MÍN | MÁX |
|--------------|------------|-----------------|---------------------|--------------------------|----------|-------------|
| LAI_90 | 49 | 0,234946 | 0,297895 | 126,793% | 0 | 1,36 |
| LAI_01 | 49 | 0,466881 | 0,486281 | 104,155% | 0 | 1,96 |
| LAI_15 | 49 | 0,084643 | 0,155157 | 183,308% | 0 | 0,44 |
| LAI_18 | 49 | 0,515756 | 0,301862 | 58,5281% | 0 | 1,01 |
| Total | 196 | 0,325556 | 0,373047 | 114,587% | 0 | 1,96 |

(Fuente: Statgraphics Centurion XV.I)

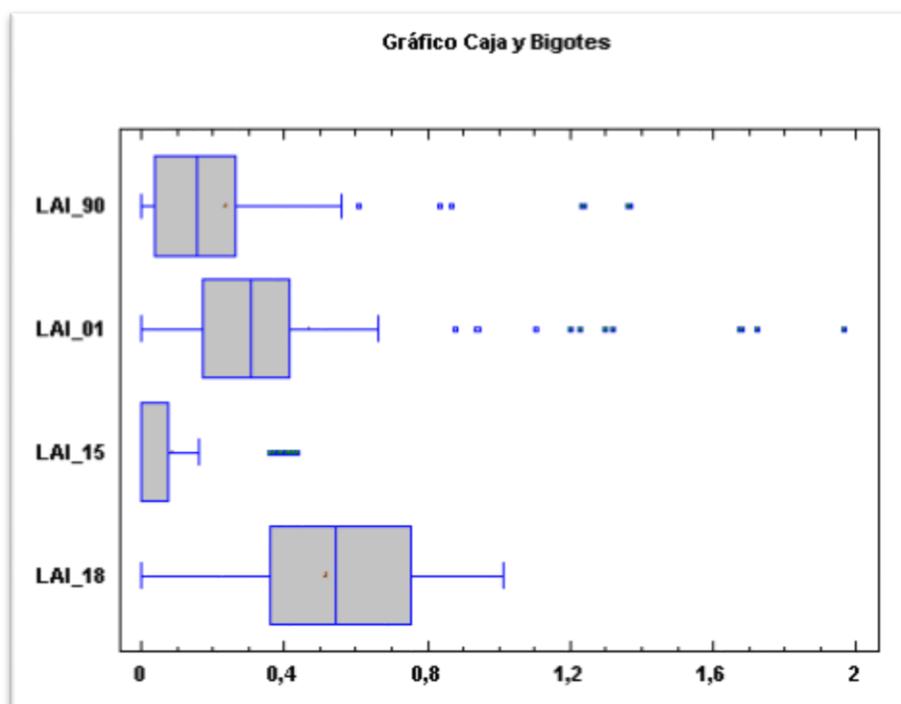


Figura N° 24: Gráfica Estadística de Cajas y Bigotes para LAI del Estado Aragua (1990-2018). Fuente: Statgraphics Centurion XV.I

Para el análisis de las variables obtenidas en LAI se pudo determinar que los valores medio para LAI en 1990 fue de 0.24, mientras que en 2001 subió a 0.47, en el año 2015 bajo drásticamente 0.08 y en 2018 subió a 0.52. La valoración mínima y máxima obtenida para dicho índice fue de 0 para algunos puntos de muestreo y 1.96 en otras áreas, cabe destacar que en las imágenes de 1990 y 2001 se obtuvieron valores hasta 6. De las 196 muestras por puntos analizadas mantienen una media de 0.33. La varianza entre estos valores muestreados no son tan altos por lo que se mantienen solapados. La desviación estándar fue de 0.37. Siendo este valor para desviación el más alto entre los 3 índices analizados.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La adecuada selección de imágenes para el análisis de valores espectrales para aplicaciones con SIG es de vital importancia. Por lo que las imágenes seleccionadas para el estado Aragua facilitaron la obtención de valores muy precisos.
- El procedimiento preliminar debe ser realizado junto con los coeficientes de calibración correspondientes de acuerdo al satélite de donde se obtuvieron las imágenes, para que permitan resultados propios a la investigación, seguros y validables.
- La obtención de los índices de vegetación analizados (NDVI, SAVI y LAI), pueden demostrar la presencia de vegetaciones, su densidad y el área de la misma en las zonas de estudio. Para el Estado Aragua todos los índices de vegetación utilizados, desde 1990 hasta 2018, muestran el crecimiento de vegetación considerable como alta solo en zonas propias de la cordillera de la costa y en zonas alrededor del lago de Valencia propias de zonas rurales agrícola, mientras que en el área total del estado predominan las vegetaciones bajas y medias. Siendo la excepción solo en el año 2015 donde todos los valores muestran el estado crítico de la vegetación por la fuerte sequía por la que atravesó el país.
- El estado Aragua en cuanto a los usos de la tierra, evidencia el deterioro en su vegetación característica a través de los años desde 1990 hasta 2018 producto del auge industrial y su creciente crecimiento poblacional posterior a los años post industrialización. Los datos arrojados demuestran un

crecimiento de las Zonas urbanas indetenible desde 1990 hasta 2018, lo que ha reducido las zonas naturales propias del estado.

- El análisis de parámetros biofísicos en el Estado Aragua, permite llevar un registro histórico así como comparativo de los cambios en la vegetación y usos de la tierra del mismo con el fin de resguardar y rescatar aquellas zonas que requieran de la misma, así como evaluar los impactos producto del crecimiento urbano en el estado el cual viene en auge desde 1990 hasta la fecha.

Recomendaciones

- Utilizar imágenes que permitan el estudio del área a analizar con baja nubosidad.
- Se deben usar correctamente los coeficientes de calibración para las imágenes a estudiar, de acuerdo al satélite utilizado, para toda la gama Landsat (excepto Landsat 8) ya se encuentran tabulados y se consiguen en diferentes artículos científicos en la web.
- Realizar el análisis de las variables estudiadas en la presente investigación con imágenes de satélites venezolanos, podría mejorar la calidad y precisión de los mismos, así como comparar con las obtenidas a partir de las imágenes Landsat.
- Se deben considerar las zonas vegetales aun existentes en el estado Aragua como prioridad para resguardar la biodiversidad y los recursos naturales, definidas principalmente por la Cordillera de la Costa (Parque Nacional Henri Pittier).

REFERENCIAS

- ABAE (2013). Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales: Satélite Francisco de Miranda en < <http://www.abae.gob.ve/web/Educacion/Miranda.pdf>> (Consultada: 2017, Mayo).
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D. y Smith, M. (2006) Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la Determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO, Italia.
- AmphibiaWeb. 2008. Information on amphibian biology and conservation, web application, en <<http://amphibiaweb.org/>> (Consultada: 2017, Mayo).
- Bala. A., Karan, R. y Gayathri, V. (2013) Review on different Surface Energy Balance algorithms for Estimation of Evapotranspiration through Remote Sensing. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, volumen(3). Recuperado de: http://www.ijetae.com/files/Volume3Issue7/IJETAE_0713_97.pdf
- Bastiaanssen W.; Waters, R.; Allen, R.; Tasumi, M. and Trezza, R. 2002. SEBAL Surface Energy Balance Algorithms for Land Idaho Implementation Advanced Training and User's Manual. NASA EOSDIS/Synergy grant from the Raytheon Company through The Idaho Department of Water Resources. P.98.
- Batista Zuñiga; Delfín González; Palacio Prieto y Delgado Carranza; (2004). Técnicas de Muestreo para Manejadores de Recursos Naturales. Universidad Autónoma de México. México.
- Betancourt Rial, A.; Chacón Moreno, E.; (2015). Corredores Ecológicos como Estrategia para la Conservación de los Ecosistemas Boscosos de la Reserva Forestal de Caparo, Venezuela. Interciencia, vol. 40, núm. 4, abril, 2015, pp. 275-281. Asociación Interciencia. Caracas, Venezuela.
- Bovarnick; A, Alpizar; F, y Schnell; C, (2010). La importancia de la biodiversidad y los ecosistemas para el crecimiento económico y la equidad en américa latina y el caribe: una valoración económica de los ecosistemas. PNUDMA, España.

- Carlos A. Sabino (1986) El proceso de investigación. Buenos Aires, Argentina.
- Chander, G., Markham, B. And Helder, D. 2002. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote Sensing of Environment. ELSEVIER N° 113: 893–903.
- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999). Venezuela.
- Cordero, X. 2014. Microclima y confort térmico urbano. Análisis sobre la influencia de la morfología del cañón urbano. Caso de estudio en los barrios El Raval y Gracia, Barcelona. Máster en Arquitectura, Energía y Medio Ambiente. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. 112 pp.
- Córdova, K. 2011. Geotecnología espacial aplicada al estudio del clima urbano: Análisis térmico superficial en la ciudad de Caracas- Venezuela. Revista Geográfica Venezolana. 52(2): 31-46.
- Correa, E.; Flores, L. y Lesino, G. 2003. Isla de calor urbana: efecto de los pavimentos. Informe de avance. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. ASADES 7(2): 25-30.
- De Campo; D, y Finegan; B, (2001). Principios, Criterios e indicadores para la evaluación de corredores y su aplicación. Caso Costa Rica. Revista Forestal Centroamericana. CATIE – Costa Rica p.p. 1-13.
- Evapotranspiración de referencia. Extraído el 29 de junio de 2017 de: <http://www.fao.org/3/a-x0490s/x0490s01.pdf>
- Ferrari, Jéferson L.; Da Silva, Samuel F.; Dos Santos, Alexandre R.; Garcia, R.; (2012). Corredores ecológicos potenciais na subbacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre-ES, indicados por meio de SIG. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 7, núm. 1, 2012, pp. 133-141 Universidade Federal Rural de Pernambuco. Pernambuco, Brasil.
- Fidias, A.; (2006). El proyecto de investigación. 5ta Edición. Editorial Episteme. Caracas – Venezuela.
- Galleguillos, M., Jacob, F. Prevot, L. y Lagacherie, P. (2011): Comparison of two temperature differencing methods to estimate daily evapotranspiration over a Mediterranean vineyard watershed from ASTER data. Francia.

- García E. Lleellish M. (2012) Estimación Espacial de la ET Mediante Imágenes Satelitales y el Modelo SEBAL en el Humedad Paraíso Huacho. Lima, Perú.
- García, R. 2007. Los sensores remotos y su aplicación en la meteorología: un estudio de caso. XVI Congreso Internacional de Meteorología, Edición Internacional. Organización Mexicana de Meteorólogos A.C. (OMMAC), Veracruz. México. P. 10. Instituto Nacional De Meteorología E Hidrología. s/f . Estadísticos Básicos. Temperatura y humedades relativas máximas y mínimas.
- Guerrero J. (2012). Determinación del Índice de Área Foliar (IAF) a partir de imágenes de satélite. Extraído el 26 de junio de 2017 de:
- Guevara, E. (2004) Libro de Hidrología. (Capitulo 10) Venezuela
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2016) Metodología de la Investigación Editorial Mc Graw Hill, México.
- Hernández Sampieri; Fernández Collado; y Batista Lucio; (2010). Metodología de la Investigación. Mc-Graw Hill. México.
- <https://content.meteoblue.com/es/ayuda/parametros/humedad-relativa>
- <https://joseguerreroa.wordpress.com/2012/03/27/determinacion-del-indice-de-area-foliar-iaf-a-partir-de-imagenes-de-satelite-con-grass-en-qgis/>
- Humedad relativa. Extraído el 27 de junio de 2017 de:
- INE; (2014). XIV CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN Y VIVIENDA: Resultados por Entidad Federal y Municipio del Estado Carabobo. Venezuela.
- Investigación Correlacional. Extraído el 27 de junio de 2017 de: http://www.ecured.cu/Investigaci%C3%B3n_Correlacional
- Javier Sánchez San Román (2010). Evapotranspiración. Extraído el 01 de julio de 2017 de: <http://hidrologia.usal.es/temas/Evapotransp.pdf>
- Kelton, W; Law, A (1991): Simulation Modeling y Analisis. United States of America. MCGRAW HILL.
- Kusuma, I. 2015. Analysis of urban surface temperature for Green spaces planning in Bandung City, Indonesia. Thesis Master of Science in Geo-information Science and Earth Observation. University of Twente. Enschede, The Netherlands. 89 pp.

- Ley de Aguas (2007). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, número 38.595. Enero 2, 2007
- Ley Orgánica del Ambiente (2006). Venezuela.
- Llamas, J. (1993): Hidrología General. Principios y Aplicaciones. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. Bilbao.
- Llorente-Bousquets, J., y S. Ocegueda. 2008. Estado del conocimiento de la biota, en *Capital natural de México*, vol. I: *Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio, México, pp. 283-322.
- Lopez, S. y Urbina L. (2016). Análisis de la Variación espacio-temporal de la Producción Hídrica de la Cuenca del Rio Unare mediante el uso de imágenes satelitales. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.
- Mittermeier, R.A., P. Robles-Gil y C. Goettsch-Mittermeier. 1997. *Megadiversidad. Los países biológicamente más ricos del mundo*. Cemex-Agrupación Sierra Madre, México.
- National Aeronautics And Space Administration. s/f. Landsat 7 Science Data Users Handbook. National Aeronautics and Space Administration. p. 186.
- Ngie, A.; Abutaleb, K.; Ahmed, F.; Taiwo, O.; Darwish, A. and Ahmed, M. 2015. An
- Ocampo, D., Rivas, R. y Carmona, F. (2013): Aplicación de tres modelos de estimación de la evapotranspiración a partir de imágenes Landsat e información de terreno. Buenos Aires, Argentina.
- ONU (1987). Informe Brundtland. Suiza.
- Ordoñez Gálvez, Juan Julio (2011). Cartilla Técnica: Balance Hídrico Superficial. Lima Perú. Extraído el 16 24 junio de 2017 de: http://www.gwp.org/Global/GWP_SAm_Files/Publicaciones/Varios/Balance_Hidrico.pdf
- Palella S, y Martins, F (2010). *Metodología de la investigación cuantitativa*. Tercera Edición. Caracas. Fondo editorial de la Universidad Pedagógica Libertador (FEDEUPEL).
- Paredes, F. 2009. Nociones elementales de la climatología y hidrología del estado Cojedes. Publicaciones del Área de Estudios de Postgrado. Serie Investigación. No. 1. UNELLEZ-San Carlos. Cojedes, Venezuela. 262 pp.

- Paruelo; J, (2008). La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. Revista Ecosistemas N° 7 (3): 4-22. Disponible en <<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=575>>.
- Pérez, D.; (2007). Introducción a los Sensores Remotos – Aplicaciones en Geología. Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- Pérez, M.; García, P. y Guerra, A. 2003. Análisis del clima urbano a partir de imágenes de satélite en el centro peninsular español. Anales de Geografía de la Universidad Complutense. N° 23: 187-206.
- Philip B. Bedient, Wayne Charles Huber (2002), Hydrology and Floodplain Analysis. Prentice Hall
- Precipitación. Extraído el 01 de julio de 2017 de: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_136_147_89_1257.pdf
- Radiación Solar. Extraído el 03 de julio de 2017 de: https://www.ecured.cu/Radiaci%C3%B3n_solar
- Red Social Nacional. Radiación solar en el planeta tierra. Extraído el 27 de junio de 2017 de: <http://www.rena.edu.ve/cuartaEtapa/cienciasTierra/Tema6.html>
- Salazar; M, (2004). Los sistemas de información geográfica aplicaciones prácticas en Venezuela. Memorias Congreso Internacional de Cartografía Digital y Sistema de Información Geográfica como herramientas para la Conservación y el Desarrollo Sostenible. Colombia.
- Sistemas de Información Geográfica. Extraído el 02 de julio de 2017 de: <https://langleruben.wordpress.com/%C2%BFque-es-un-sig/>
- South Africa. International Conference in Geospatial Technologies for Sustainable Urban and Rural Development. University of Rwanda and University of Twente. Kigali. Rwanda. 9 pp.
- Surface Energy Balance Algorithms for Land. Advanced Training and Users Manual (August, 2000) Version 1.0
- Tumini, I. 2010. Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso de Madrid. Congreso Internacional Sustainable Building. Madrid. España. P. 15.

- United States Geological Survey. USGS. 2018. Earth Explorer del USGS USA, en <<https://earthexplorer.usgs.gov/>> (Consultada: 2018, Enero).
- Vélez; F, (1996). Introducción a los Sistemas de Información Geográfica. Universidad de Antioquia. Disponible en <<https://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/article/view/325630>> (Consultada: 2017, Mayo).
- Velocidad del viento. Extraído el 01 de julio de 2017 de: http://www.ecured.cu/Velocidad_del_viento
- Villa Grajales, A.; Escobar, J.; (2012). Alternativa de corredor ecológico en la zona nororiental del municipio de Medellín. Gestión y Ambiente vol. 15, núm. 2, agosto, 2012, pp. 33-46 Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Voogt, J. and Oke, T. 2003. Thermal remote sensing of urban climates. Remote Sensing of Environment. ELSEVIER N° 86: 370–384.
- Worldwide Reference System. Extraído el 03 de julio de 2017 de: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/the-worldwide-reference-system/>
http://landsat.usgs.gov/worldwide_reference_system_WRS.php
- wri. 2004. World Resource Institute. Earth trends, environmental information, en <www.earthtrends.wri.org> (Consultada: 2017, Junio).
- Zhou, G.; Chen, W.; Fan, D. and Cen, M. 2005. Multi-variables analysis of urban surface temperature. ASPRS 2005 Annual Conference: Geospatial Goes Global: From Your Neighborhood to the Whole Planet. Baltimore, Maryland. 9 pp.