



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
AREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRÍA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN ESPACIO
TEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PRODUCCIÓN
HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RIO CHIRGUA, ESTADO CARABOBO-
VENEZUELA**

Autor: Lic. Franceschi Alejandra

Tutor: PhD. Márquez Adriana

Bárbula, 20 de mayo de 2019



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
AREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRÍA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN ESPACIO
TEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PRODUCCIÓN
HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RIO CHIRGUA, ESTADO CARABOBO-
VENEZUELA**

Autor:

Lic. Franceschi Alejandra

**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**

Bárbula, 20 de mayo de 2019



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 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:

“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PRODUCCIÓN HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CHIRGUA, ESTADO CARABOBO- VENEZUELA”

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

ALEJANDRA FRANCESCHI
V.- 18.166.398

*Habiendo examinado el Trabajo presentado, decidimos que el mismo está **APROBADO**.
 En Valencia, a los cinco (05) día del mes de Junio del año dos mil diecinueve.*

Prof. Adriana Márquez
 C.I.: 12604007
 Fecha: 05/06/2019

Prof. Bettys Farias
 C.I.: 8359096
 Fecha: 05/06/2019
 FE: 04/06/2019 /Db.-

Prof. Estefania Freytez
 C.I.: 15667469
 Fecha: 05/06/2019



AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarme siempre.

A mi Tutora la Ing. Msc. Dra. Adriana Márquez quien fue de gran apoyo y motivación para lograr la culminación de esta meta.

A mis padres por el inmenso sacrificio, amor y dedicación.

A Jonathan y mis niños amados.

RESUMEN

Se estimó la influencia de la variación espacio temporal de la cobertura vegetal sobre la producción hídrica de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, a través de mapas de uso y cobertura de la tierra; variables asociadas al uso y cobertura; y la precipitación efectiva; utilizando imágenes del satélite Landsat 8 (OLI) del periodo (2015-2016). Se obtuvo en proporción por área ocupada los siguientes valores: cobertura vegetal 33%; uso agrícola 26%; área urbana 24% y suelos degradados 8%. En cuanto a las variables de uso y cobertura, se estimó número de curva (CN); precipitación (P) y almacenamiento de agua en suelo (S), según clasificación de US soil conservation service (SCS). El (CN) para cobertura vegetal fue alto; uso agrícola y urbano un nivel medio, ambos potenciales de escorrentía. La magnitud de (P) es baja a media típica de la época seca; (S) para cobertura vegetal (suelo arcilloso y rico en materia orgánica); para uso agrícola y urbano (tierra arcillosa). En promedio la precipitación efectiva para cobertura vegetal fue 3,84mm; 10,53mm para uso agrícola y 26,56mm para urbano. La cobertura vegetal se clasificó como tipo regular, el cual gobierna medianamente el grado de influencia de producción hídrica de la cuenca.

Palabras claves: uso y cobertura de la tierra, número de curva, almacenamiento de agua en suelo y precipitación efectiva.

ABSTRACT

The influence of spatial- temporal variation of vegetation cover on water production of the Chirgua river basin, Carabobo State - Venezuela, was estimated through maps of land use and coverage; variables associated with use and coverage; and effective precipitation. Images from the Landsat 8 (OLI) satellite of the period (2015-2016) were used. The values obtained in proportion by occupied area were: vegetation cover 33%; agricultural use 26%; urban area 24% and degraded land 8%. For variables of use and coverage, were estimated the curve number (CN); precipitation (P) and storage of water in soil (S), according to classification of US soil conservation service (SCS). (CN) for vegetation cover was high; agricultural and urban use was medium level of runoff potential. The magnitude of (P) was low to medium average typical of the dry season; (S) for vegetation cover was (clay soil and rich in organic material); for agricultural and urban use was (clay soil). The average for effective rainfall of vegetable cover was 3.84mm; 10.53mm for agricultural use and 26.56mm for urban use. Vegetation cover was classified as a regular type, which moderately governs the degree of influence of water production in the basin.

Key words: land use and coverage, curve number, soil water storage and effective precipitation.

INDICE

Agradecimientos	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Introducción	1
Capítulo I El Problema	4
1.1 Planteamiento del problema	4
1.2 Formulación del problema	8
1.3 Objetivos	9
1.3.1 Objetivo general	9
1.3.2 Objetivos específicos	9
1.4 Justificación de la investigación	10
1.5 Alcances y Limitaciones	14

Capítulo II Marco teórico	15
2.1 Área de estudio	15
2.2 Antecedentes	19
2.3 Bases teóricas	26
2.3.1 Cuencas hidrográficas	26
2.3.2 Caracterización fisiográfica o fluviomorfológica de cuencas hidrográficas.....	27
2.3.3 Uso y cobertura de la tierra. Cobertura vegetal	30
2.3.4 Fundamentos de la teledetección. Naturaleza de la radiación. Interacciones entre la radiación y los objetos	33
2.3.5 Interacción de los elementos de la superficie terrestre con la radiación.....	39
2.3.6 Respuesta espectral de la vegetación	40
2.3.7 Caracterización de las imágenes de satélite	42
2.3.8 Análisis de imágenes de satélite en un SIG	47
2.3.9 Visualización de imágenes	49

Capitulo III Marco metodológico	52
3.1 Tipo de investigación	52
3.2 Diseño de la investigación	52
3.3 Población y muestra	52
3.4 Area de estudio	53
3.5 Fases de la investigación	53
3.6 Obtención de resultados	58
Capitulo IV Análisis y discusión de resultados	60
4. 1 Selección de imágenes del satélite Landsat, periodo (2015-2017).....	60
4.2 Mapas de uso y cobertura de la tierra	61
4.3 Variables asociadas al uso, cobertura y tipo de suelo	68
4.4 Producción hídrica (escorrentía) de la cuenca del río Chirgua	79
Conclusiones	84
Referencias Bibliográficas	86

Figuras por capítulo

Capítulo II

Figura N° 1: Vista área de la cuenca del río Chirgua a través de Google Maps (2019)	16
Figura N° 2: Respuestas espectrales a distintas longitudes de onda	40
Figura N° 3: The spectral range of the Landsat Thematic Mapper (TM) instrument (NASA, 2017)	43
Figura N° 4: Resolución espacial de una misma imagen	44
Figura N° 5: Descomposición de una imagen en color en sus componentes RGB	51

Capítulo IV

Figura N° 6: Mapa de uso y cobertura de la tierra de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2015)	62
Figura N° 7: Mapa de uso y cobertura de la tierra de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2016)	63
Figura N° 8: Mapa de uso y cobertura de la tierra de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2017)	65

Figura N° 9: Número de curva de escorrentía de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2015)	69
Figura N° 10: Número de curva de escorrentía de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2016)	70
Figura N° 11: Número de curva de escorrentía de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2017)	70
Figura N° 12: Precipitación de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2015)	72
Figura N° 13: Precipitación de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2016)	73
Figura N° 14: Precipitación de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2017)	74
Figura N° 15: Almacenamiento de agua en suelo del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2015)	76
Figura N° 16: Almacenamiento de agua en suelo del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2016)	76
Figura N° 17: Almacenamiento de agua en suelo del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2017)	77

Figura N° 18: Precipitación efectiva de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2015)	80
Figura N° 19: Precipitación efectiva de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2016)	80
Figura N° 20: Precipitación efectiva de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2017)	81

Tablas por capítulo

Capítulo II

Tabla N°1: Regiones del espectro electromagnético	34
Tabla N° 2: Características de los principales sensores utilizados	46
Tabla N° 3: Parámetros del sensor Landsat TM	49

Capítulo III

Tabla N° 4: Característica técnicas de imágenes del satélite Landsat 8	54
--	----

Capítulo IV

Tabla N° 5: Descripción del origen de las imágenes (metadatos)	60
Tabla N° 6: Uso y cobertura de la tierra por área abarcada	66

INTRODUCCION

Las cuencas hidrográficas como extensiones de tierra o espacios geográficos ambientales que encauza su escorrentía a un único sistema de drenaje natural con significación territorial en la hidrografía del lugar, constituyen un conjunto de elementos naturales en constante dinámica, los cuales tanto por acción natural o humana condicionan la existencia de ecosistemas y ciclos que interactúan permanentemente entre sí en un espacio y tiempo determinado.

En el marco de este conjunto de variables naturales en constante intercambio dinámico, es importante señalar el rol determinante de las cuencas hidrográficas en la evolución natural del ciclo hidrológico; en consecuencia, en la producción hídrica, en el caudal y drenaje de los ríos, en el relieve o cobertura vegetal, en la conservación del suelo y el subsuelo, en el clima; y en general, en el estado del ambiente, sus recursos naturales, diversidad biológica y demás elementos que lo integran.

En Venezuela existen numerosas cuencas hidrográficas como la del río Orinoco, Cuyuní, río Negro, la del mar Caribe, del lago de Maracaibo y la del lago de Valencia, esta última enclavada en el tramo central de la Cordillera de la Costa, entre los estados Aragua y Carabobo; todas consideradas como ecosistemas de importancia estratégica, a los fines de evitar alteraciones que

menoscaben su integridad funcional en su conjunto o en alguno de sus componentes, impidiendo el desarrollo de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado.

Siendo el agua un componente vital del ciclo hidrológico, indispensable para la vida, legislaciones en diversos países, a través de leyes ambientales han hecho imperativo su protección integral, resguardando las cuencas hidrográficas, con énfasis en las actividades capaces de degradar las fuentes naturales de agua, los recorridos de estas y su represamiento.

De igual forma, la cobertura vegetal, entendida como la capa de vegetación que cubre la superficie terrestre, también juega un rol importante en la protección y regulación del ciclo hidrológico, en tal sentido, los arboles al actuar como barreras naturales, afectan positivamente la dinámica de dicho ciclo, incrementando la intercepción y retención de las aguas, en consecuencia disminuyen la esorrentía; de allí su importancia como agentes naturales protectores no solo de los suelos sino también de la sustentabilidad del ciclo hidrológico y de la producción hídrica en diversas áreas geográficas.

Es claro que un determinado espacio geográfico vulnerable como las cuencas hidrográficas, no puedan aceptar o soportar durante un periodo de tiempo determinado una capacidad de carga de elementos externos nocivos,

sin que se produzcan daños, o se impida su recuperación en plazos normales o se reduzcan significativamente sus funciones ecológicas.

En tal sentido, la cuenca hidrográfica del río Chirgua, enclavada en la región Central del país, Municipio Bejuma, Estado Carabobo, teniendo como río principal, el río Chirgua; en base a sus características históricas ambientales proclives a la actividad agrícola, ha sido sometida a este tipo de actividades y otras no controladas, sin que en este momento exista documentación técnica que sustente una evaluación ambiental que permitan un diagnóstico de las implicaciones ambientales derivadas de dichas actividades.

Actualmente existen procedimientos técnicos innovadores y confiables como la teledetección por sensores remotos, orientados al estudio de todas aquellas actividades o fenómenos que puedan contribuir a la degradación del medio ambiente, a los fines de establecer prevención y control, y asegurar su sustentabilidad, hoy en día considerado bien esencial para la humanidad. Por estas razones, se ha propuesto la utilizando de imágenes obtenidas a través del satélite Landsat 8 (OLI), para estudiar la influencia de la variación espacio temporal de la cobertura vegetal sobre la producción hídrica en la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela.

CAPITULO I

1. EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad la mayoría de las personas viven en cuencas hidrográficas, y han ido transformando sus ecosistemas acordes a las necesidades de la población en el curso de la historia. Aproximadamente el 10% de la población mundial vive en las zonas de laderas altas de las montañas, donde ocurre la captación de los primeros escurrimientos (arroyos); mientras que, existe un 40% de la población mundial que ocupa las zonas adyacentes a las cuencas bajas y medias (FAO, 2007). Es así como la mitad de la población ocupa estos espacios que son ecológicamente complejos, en el que las diferentes actividades desarrolladas por el hombre, pueden originar un impacto negativo en estos ecosistemas tan delicados, y que además están en un continuo equilibrio.

Diversas investigaciones, muestran que el uso de la tierra repercute directamente en el régimen hídrico a diferentes escalas; como por ejemplo, en la filtración del agua en el suelo; la calidad del agua río abajo; la recarga de los acuíferos; la compactación del suelo, el cual puede disminuir su porosidad haciendo aumentar el escurrimiento y el caudal máximo durante las lluvias; y

es posible que también se puedan incrementar las inundaciones (Kaimowitz, 2004) (FAO, 2007).

Dentro de las actividades emprendidas por el hombre que generan un impacto negativo en las cuencas de agua, se encuentran: la deforestación; las prácticas agrícolas inadecuadas; el exceso de pastoreo; construcción y edificaciones, entre otros. Todas estas actividades pueden incrementar los escurrimientos; impedir la reposición de las fuentes de las montañas y generar torrentes estacionales que destruyen las parcelas de las tierras bajas. De igual manera pueden carecer de la capacidad para soportar las lluvias torrenciales, y contener las corrientes de agua (FAO, 2007).

La contaminación biológica y química industrial de las corrientes de agua por el uso inadecuado de fertilizantes y pesticidas, es otra consecuencia de las malas prácticas que originan que las sustancias químicas escurran desde los campos de cultivo hacia los ríos y los acuíferos, donde se concentran y contaminan el agua de los usuarios de río abajo. (FAO, 2007). Hoy también se sabe que los corrales de engorde son una importante causa de contaminación.

La importancia de este efecto varía de acuerdo con el tipo de uso de la tierra, la dimensión de la cuenca, el clima, las características del suelo, la topografía, la geología, etc. (Bosch y Hewlett, 1982; Bruijnzeel, 1990; Calder, 1999; FAO, 2007).

Unas de las herramientas más empleadas en los últimos tiempos son las técnicas de teledetección, las cuales permiten analizar de manera multitemporal grandes áreas de territorio aun en lugares de difícil acceso; ya que representan un aporte único para examinar y describir fenómenos siguiendo su dinámica y sus modificaciones, como por ejemplo el estudio de la cobertura terrestres y el uso de los suelos; el crecimiento, la forma y el tipo de ocupación de territorio; fenómenos como la desertificación, degradación y forestación de un ecosistemas (García, Amarilla, Rodas y Echeverría, 2017), (Álzate y Sánchez, 2018) y (Tengil, Franco, Nava y Ordoñez, 2015).

La cuenca del río Chirgua, ubicada dentro del Estado Carabobo, es un área por excelencia de uso agrícola, debido a que es una de las principales zonas productoras de cultivos cítricos, maíz (*Zea mays*) y tubérculos a nivel nacional. No obstante, el desplazamiento de la cobertura vegetal por parte del desarrollo de actividades agropecuarias, la rápida proliferación de áreas urbanas, y eventualmente el crecimiento demográfico; ha conllevado al aumento de la demanda hídrica, para poder satisfacer las distintas demandas y presiones a la cual es sometida la cuenca.

Por las razones nombradas anteriormente, se considera necesario el estudio y elaboración de mapas de uso y cobertura de la tierra, y la lluvia efectiva a través de imágenes satelitales, que permitan evaluar la influencia de la cobertura vegetal sobre la cuenca del río Chirgua. El uso de sensores

remotos va a permitir obtener una respuesta inmediata a las necesidades ambientales que deben ser estudiadas y monitoreadas con gran precisión e inmediatez, para el desarrollo futuro de gestiones sostenibles, leyes y acciones que permitan la mejora de la calidad de ecología de las cuencas hidrográficas.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la magnitud de la influencia de la variación espacio temporal de la cobertura vegetal sobre la producción hídrica de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela?

¿A través de imágenes provenientes del satélite Landsat, se podrá estudiar la cuenca del río Chirgua?

¿Los mapas de uso y cobertura de la tierra permitirán evaluar las características fisiográficas de la cuenca del río Chirgua?

¿Se podrán determinar variables asociados al uso, cobertura y tipo de suelo?

¿Se puede determinar la producción hídrica (escorrentía) de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la influencia de la variación espacio temporal de la cobertura vegetal sobre la producción hídrica de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Seleccionar imágenes provenientes del satélite Landsat (Periodo 2015-2017 época de sequía).
2. Elaborar mapas de uso y cobertura de la tierra.
3. Determinar variables asociados al uso, cobertura y tipo de suelo.
4. Estimar la producción hídrica (escorrentía) de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La ecología de las cuencas es de gran importancia para la humanidad, ya que de ellas depende el suministro mundial de agua dulce para satisfacer las demandas de una población cada vez más numerosa. El nuevo concepto de cuenca hidrográfica se basa en la experiencia de investigaciones y proyectos de hidrología y ecología, ecología humana y economía ambiental (FAO, 2007).

Evaluar y cuantificar las repercusiones del uso de la tierra en la calidad del agua de una cuenca, exige un análisis completo de la situación y entender los procesos físicos en cuestión. Para poder responder a problemas de la cuenca es necesario estudiar la escala de la misma; distinguir entre los riesgos naturales y los riesgos inducidos por el hombre; entender los procesos químicos y distinguir entre la contaminación de fuentes localizadas y no localizadas.

Es así como la escala es uno de los parámetros más importantes en la evaluación de las repercusiones del uso de la tierra en el agua. Basándose en numerosos estudios de casos, se coincide que es necesario clasificar el efecto potencial del uso de la tierra en diversos aspectos del régimen hídrico y la calidad del agua, como función de la escala de la cuenca. Es probable que el uso de la tierra produzca repercusiones significativas en el régimen hídrico y la disponibilidad de agua sólo en las cuencas muy pequeñas. Conforme éstas son más grandes, los efectos del uso de la tierra en el régimen hídrico se

vuelven insignificantes en comparación con los producidos por los factores naturales, como las repercusiones de los acontecimientos pluviales extremos. Sin embargo, también en las cuencas muy grandes, el uso de la tierra repercute en la calidad misma del agua.

Los cambios en el uso de las tierras modifican las pautas del paisaje, el funcionamiento del ecosistema y la dinámica del clima de las cuencas; repercuten en la biodiversidad y en la hidrología, así como en el transporte del calor latente, el bióxido de carbono, los nutrientes y los contaminantes. La intervención humana ha adquirido considerable importancia ambiental con enormes consecuencias en los sistemas de las cuencas hidrográficas (Huber, Bugmann y Reasoner, 2005).

La promoción de programas de aprovechamiento integrado de las cuencas hidrográficas mediante la participación efectiva de la población local es indispensable para impedir que siga agravándose el desequilibrio ecológico. Se necesita un enfoque integrado de la conservación, el mejoramiento y la utilización de la base de recursos naturales de tierras, aguas, plantas y animales, así como de los recursos humanos. Además, la promoción de otros medios de vida, en particular mediante la elaboración de planes de empleo que aumenten la base de producción, contribuirá considerablemente al mejoramiento del nivel de vida de la gran población rural que vive en ecosistemas de montaña.

Las crecientes necesidades humanas y el aumento de las actividades económicas ejercen una presión cada vez mayor sobre los recursos de tierras, suscitan la competencia y los conflictos y llevan a un uso impropio de la tierra y los recursos.

Venezuela al igual que la mayoría de los países en vías de desarrollo, necesita de planes e investigaciones que promuevan el buen uso de este apreciado recurso, para poder así satisfacer las necesidades permanentes y cada vez más crecientes la población (Belisario, 2013).

Entendiendo la necesidad de querer satisfacer en el futuro las necesidades humanas de manera sostenible, es esencial resolver ahora esos conflictos y encaminarse hacia un uso más eficaz y eficiente de la tierra y sus recursos naturales.

Desde el punto de vista ambiental es necesario el estudio de nuestros ecosistemas y biomas, consideración los efectos que el hombre pueda generar a corto y largo plazo; que se puedan minimizar los impactos ambientales que estos ocasionan; así como en otros casos resguardar y hacer uso eficiente de los recursos naturales renovables y no renovables como el agua; la biodiversidad y los suelos, entre otros (FAO, 2014) (HLPE, 2014). Ello tendrá un impacto significativo en la disponibilidad de agua y los demás recursos tanto para el consumo humano como equilibrio ecológico de la cuenca del río Chirgua.

Desde el punto de vista económico y social, los cultivos que se producen en la cuenca del río Chirgua son de especial magnitud ya que estos abastecen los principales mercados de la región Centro- Occidente del país (Agro Tecnología Tropical, 2013); por ejemplo se registró que para el año 2010 se cosechó un área de 1455,9 ha, con un rendimiento promedio de 14 t ha⁻¹ y una producción de tubérculos de 20.685 t (Almeida, Rodríguez, García, Madriz, Figueroa y Mantilla, 2013), en base a que la región dispone en términos agregados de una buena dotación de recursos, vale la pena desarrollar sistemas de cultivos sustentables que optimicen el desarrollo agrario de la zona y por consiguiente se dispondrán de una serie de mejoras en cuanto a la calidad de vida, que se verán reflejados en la disponibilidad de oportunidades de trabajo, alimentos y servicios, entre otros.

Desde el punto de vista institucional esta investigación será un aporte de gran importancia a la línea de investigación de la Maestría en Ingeniería ambiental en el área que corresponde a sistemas de información geográfica (SIG) con el uso de sensores remotos que se encuentra en el proceso de aprobación, resaltando el uso de las imágenes satelitales para estimar la influencia de la variación espacio temporal de la cobertura vegetal sobre la producción hídrica de la cuenca del río Chirgua del Estado Carabobo, pudiendo así con el tratamiento informático de las imágenes satelitales discriminar las condiciones del suelo, los tipos de vegetación y su estado; además de ser una tecnología limpia, sustentable y económica.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

La presente investigación se llevó a cabo para estimar la variación espacio temporal de la cobertura vegetal sobre la producción hídrica de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela. A través de las imágenes tomadas por el satélite Landsat 8 (OLI), se logró clasificar la cobertura y uso de la tierra por medio del software Erdas Imagen, lo que a su vez permitió estimar la influencia de las distintas categorías de cobertura sobre la producción hídrica (lluvia efectiva) de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela.

Este mapa de uso y cobertura de la tierra, permitirá a las siguientes investigaciones, establecer los límites de la frontera agrícola y la cobertura vegetal natural; apoyar la gestión integral del patrimonio natural y las actividades productivas; monitorear los cambios de la cobertura y uso de la tierra. Además, es un insumo para el ordenamiento territorial, la formulación de políticas en beneficio de los productores y otros agentes de las cadenas agroproductivas; para fines de investigación; así como la actualización de indicadores.

Por otra parte, la limitación de esta investigación, fue la disponibilidad de imágenes con una óptima resolución; la insuficiente disponibilidad de información general del ámbito físico-natural de la cuenca; censos y estadísticas ambientales por parte del Instituto Nacional de Estadística (INE).

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1 Área de estudio

La cuenca del río Chirgua pertenece a la cuenca alta del río Pao; atraviesa todo el valle desde la Hacienda Cariaprima donde tiene su cabecera, corre en dirección sur hasta desembocar en el mismo. Durante su recorrido recibe veintinueve quebradas que riegan este fértil Valle, entre ellas se encuentran: quebrada Honda, Maracas, sabana de Valencia, los Manires, el Potrero, Chirguita, La Palma, cerro de los Burros, la Corina, los Candelas, el León, Malbellaco, Vallecito, Casupito y otros que ya han desaparecido (INE, 2011).

El río Chirgua es una corriente (class H - Hidrográfica) del Estado Carabobo (Carabobo), Venezuela (South América) con un código de región de Américas/Western Europe. Se encuentra a una altitud de 487 metros sobre el nivel del mar. Sus coordenadas son 9°55'26" N y 68°10'14" W en formato DMS (grados, minutos, segundos) o 9.92389 y -68.1706 (en grados decimales). Su posición UTM es EL99 y su referencia Joint Operation Graphics es NC19-11. El sol sale a las 08:53 y se pone a las 21:00 hora local (América/Caracas UTC/GMT-4.5). La zona horaria de río Chirgua es UTC/GMT-4.5.

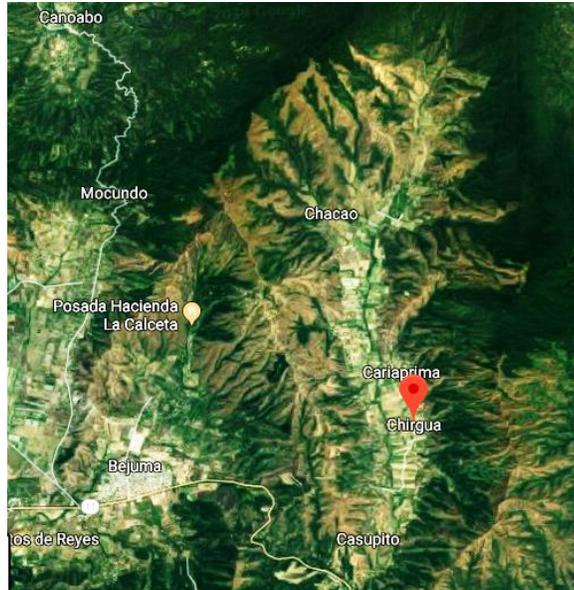


Figura N° 1: Vista área de la cuenca del río Chirgua a través de Google Maps (2019).

Descripción general del ámbito físico-natural.

- ✓ **Relieve:** principalmente accidentado, con pendientes entre 20 y 25%; predominio de formas de relieve de colina (con altura promedio de 667 m.s.n.m.). Se corresponden a sitios de depositación coluvio-aluvial. El relieve se enmarca en la provincia fisiográfica de la cordillera de la Costa (INE, 2011).
- ✓ **Clima:** la temperatura media es de 23,5 °C, el promedio de precipitación es de 964,8 mm anuales; con régimen unimodal, período

lluvioso de mayo a octubre en donde se descarga el 80,7% del total de las lluvias, con un máximo en el mes de junio (INE, 2011).

- ✓ **Geología y Suelos:** según el léxico Estratigráfico de Venezuela, la unidad geológica data del mesozoico con predominio de rocas metamórficas; hacia los fondos de valle con depositaciones del cuaternario reciente. Presencia de afloramiento de rocas ígneas ácidas (principalmente granitos), zonas de calizas y de conglomerados. La composición litológica principalmente por esquistos cuarzo-micáceos; existe una moderada a pobre aptitud de gran parte de los terrenos para la fundación, atendiendo al grado de alteración de los esquistos. Los suelos son fértiles y drenados hacia el fondo de los valles, generalmente con texturas franco-arcillosas; en las colinas, los suelos son de formación residual, poco profundos y con baja retención de humedad (INE, 2011).

Lo califican como terrenos óptimos para la agricultura, catalogados como clase I y II, entre los mejores del país, según la geografía de la región central y capital de José María Guevara y el marco legal en que se refiere al ambiente.

- ✓ **Vegetación:** la cobertura vegetal es principalmente arbustiva, con asociación de bosques tropófilos basimontanos deciduos con sabanas arbustivas y otros herbazales, de altura baja a media (10-15 metros) con uno a dos estratos arbóreos y un sotobosque denso, ocupando

laderas entre 300 y 600 m.s.n.m. A partir de los 600 m.s.n.m. se desarrollan bosques ombrófilos sub-montanos, semidecíduos estacionales; denominados “bosques alisios” los cuales presentan de dos a tres estratos arbóreos densos de altura media. Zona de vida: Bosque húmedo premontano (bh- Pm) (INE, 2011).

- ✓ **Principales actividades económicas:** una de las actividades de mayor desarrollo es la agrícola, en donde el cultivo de cítricos (principalmente naranjas), es el más importante, cuya producción es comercializada, fundamentalmente, por empresas fabricantes de jugos. Otros cultivos importantes son: el maíz, la papa, cereales, tubérculos y el café. Paralelamente a la actividad agrícola, la producción de aves y huevos constituye otro renglón importante en la economía de la región. En menor escala, se desarrolla la actividad ganadera, donde se destacan la cría de ganado porcino, vacuno y equino, entre otros. Además de la explotación del mineral no metálico feldespatos y la caliza, representa un gran potencial económico para el desarrollo de la minería a mayor escala en la región.

2.2 Antecedentes

Galeana et al., (2009) realizaron un análisis dimensional de la cobertura vegetal–uso de suelo en la cuenca del río Magdalena, mediante la utilización de sistemas de información geográfica (SIG). Mediante el cruce de información geográfica se generó una matriz de las variables ambientales, que permitió hacer un análisis preciso de los componentes principales, al conocer la superficie y ubicación de cada una de las coberturas vegetales en función de la temperatura, precipitación, altitud, edafología y orientación respecto al sol. Se identificaron 20 clases, con una dominancia de *Abies religiosa*, que cubre 40%, del cual, 34% corresponde a bosque cerrado y 6% a bosque abierto. La segunda cobertura más frecuente es la de *Pinus hartwegii* con 20%, que comprende 10.8% de su territorio con dosel abierto y 9.68% cerrado. La tercera categoría es el ecotono de bosque de *A. religiosa–R. hartwegii* con 13.6%, del cual 12.95% registró densidad cerrada y 0.66% abierta. Por último, la cobertura de bosque de *P. hartwegii–A. religiosa* fue de 6.45%, el bosque mixto, 4.8% y el bosque de *Quercus*, 2%. Se diseñó el perfil altitudinal de vegetación y climas de la cuenca del río Magdalena. Conocer la distribución de las diferentes coberturas vegetales y su relación con las variables ambientales, ayudo a vislumbrar los elementos limitantes o determinantes, que permiten tomar en cuenta acciones para desarrollar estrategias de planeación del territorio, encaminadas al manejo de los recursos naturales; la

identificación de áreas susceptibles de ser vulnerables a los diferentes procesos que ocurren derivados del cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo, la presión de la transformación del paisaje por el crecimiento de la mancha urbana, el cambio climático y la pérdida de los servicios ambientales que ahí ocurre.

Mena et al., (2011) estimaron índices de área verde y cobertura vegetal para la Ciudad de Parral (Chile), mediante fotointerpretación y SIG. Precisaron que la importancia de las áreas verdes es creciente, dado que son un factor importante en la salud y bienestar del habitante urbano. Por ello, en la ciudad de Parral en Chile Central, se cuantificó y analizó la disponibilidad de áreas verdes y cobertura vegetal, empleando fotografías aéreas de escala 1:10.000 y Sistemas de Información Geográfica (SIG). En una primera etapa, se cuantificó la arborización urbana a través de un muestreo aleatorio simple de veinticuatro unidades muestrales con mediciones en terreno combinadas con mediciones en las fotografías aéreas, de lo cual se obtuvo la superficie aportada. Posteriormente, a través de la generación de coberturas espaciales SIG se obtuvo la superficie de las áreas verdes existentes y de los espacios abiertos disponibles. Además, mediante clasificación digital supervisada, se calculó la superficie ocupada por la arborización urbana en espacios privados. Los índices explicativos de cantidad arrojaron que la ciudad de Parral dispone actualmente de 12,72 ha de áreas verdes, equivalentes a 4,82 m²/hab, lo cual

implica una frecuencia de áreas verdes de 0,022 m²/m². Estos valores podrían mejorarse, si se incorporan los espacios abiertos disponibles, llegando con ello a 12,06 m²/hab. En cuanto a los índices explicativos de disponibilidad, se estableció que la accesibilidad promedio a un área verde existente es de 327,2 m. A su vez, considerando una zona de influencia de 200 m en torno a las áreas verdes, se determinó que existen 5.160 viviendas que disponen del servicio básico (56,4%). Al incorporar los espacios abiertos disponibles, estos valores disminuyen considerablemente obteniéndose una accesibilidad promedio de 213,7 m y una cobertura de servicio de 79,2%. Finalmente, se estimó que la cobertura vegetal existente al interior de las manzanas urbanas (arborización urbana en espacios privados) representa un recurso importante, 17,8 veces mayor que la arborización urbana de calles, por lo que debería ser considerado dentro de los planes y políticas municipales.

Bernal y Prado (2015), analizaron la influencia de la cobertura vegetal en la generación de caudales en la Cuenca de la quebrada Granadillo, departamento de Cundinamarca- Colombia en los años 1993 y 2009 a partir de aerofotografías y cartografía; afirmaron que pequeñas variaciones de cobertura vegetal en la cuenca, por procesos de deforestación tienen un impacto considerable en la generación de caudales. A través de las aerofotografías lograron la identificación y delimitación precisa de las áreas de uso de la tierra, su medición con un alto nivel de exactitud, además del análisis de la distribución espacial de sus componentes, lo que a su vez represento

claras ventajas respecto de otras metodologías tradicionales de manejo y análisis de información geográfica.

Ochoa y Iñiguez (2015) determinaron el papel de la cobertura vegetal en la generación de sedimentos y calidad de agua de los Andes Ecuatorianos; los resultados demostraron que el cambio de la cobertura vegetal y la deforestación, han deteriorado considerablemente la calidad del suelo y agua. Aunque las predicciones espaciales tienen ciertas limitantes; este estudio resultó ser una herramienta para determinación de la importancia de la cobertura vegetal en la gestión del territorio. Además, se planteó una regulación enfocada al manejo de zonas de amortiguamiento de bosques naturales y riberas de los ríos, que podría tener éxito al momento de aplicar un sistema de soporte de decisiones (SSD) dirigido a la gestión de los recursos hídricos en cuencas abastecedoras de agua.

Guido et al., (2016) evaluaron el impacto de la cobertura vegetal en las áreas de recarga hídricas priorizadas en los municipios de Juigalpa, Chontales y San Ramón, Matagalpa, Nicaragua. El propósito del estudio fue determinar la diversidad arbórea, identificar cambios de uso del suelo, cobertura arbórea y cobertura vegetal, así como proponer medidas iniciales para la restauración de fragmentos de bosques degradados. Para tal efecto, establecieron parcelas de 10 x 10 m (0.1 ha) en áreas priorizadas de recarga hídrica, tomando como variables el diámetro normal a especies mayores a 10 cm y su porcentaje de

cobertura. Determinaron 39 especies arbóreas distribuidas en 24 familias botánica de las cuales, las más representativas fueron: Pinaceae y terculiaceae en las áreas de recarga en el Municipio de San Ramón. Para las áreas de recarga ubicadas en el Municipio de Juigalpa se determinaron 37 especies arbóreas distribuidas en 25 familias de las cuales las más representativas fueron Bixaceae y Fabaceae. El uso del suelo predominante en las áreas de San Ramón es el bosque con 40.3%. En el Municipio de Juigalpa el uso del suelo predominante es el pasto con 41.6%. Este Municipio se caracteriza por ser una de las zonas ganaderas más importantes de Nicaragua. Se compararon los porcentajes de coberturas con la posibilidad de recarga hídrica según la metodología de (Matus, 2007). A nivel general sólo el 17% de las áreas de recarga del municipio de Juigalpa presenta una posibilidad de recarga alta, para San Ramón la probabilidad de recarga es del 40%. En este estudio se proponen medidas para el aumento de la cobertura boscosa, la cual consiste en establecer especies maderables tradicionales con copas aparasoladas. Enriquecer con especies que se integren en sistemas agroforestales y plantar especies que se implemente en sistemas silvopastoriles con el fin de disminuir la presión sobre el bosque al aprovechar productos como leña, postes, estacas y forrajes, además de aumentar la cobertura y con ello el aumento de las posibilidades de recarga hídrica, a través de la infiltración del agua en el suelo.

Célleri et al., (2017), determinaron los efectos de la cobertura vegetal en la regulación hidrológica de microcuencas del Páramo (cuenca-Molleturo Naranjal) Ecuador. El estudio abordó la influencia de la cobertura vegetal en las distintas microcuencas partiendo del análisis de los datos de precipitación-escorrentía, con similares características geomorfológicas, pero con diferente cobertura vegetal en zonas del páramo, que fueron monitoreadas durante 130 días. El coeficiente de escorrentía para la cuenca con pajonal fue de 0.50 y para la cuenca con pinos fue 0.22. El caudal específico mínimo de la cuenca con pajonal es aproximadamente tres veces más alto con respecto a la cuenca con pinos. La retención de agua bajo la cobertura vegetal natural fue ampliamente superior y permitió cuantificar por qué el páramo y sus suelos, son una fuente permanente de agua para las zonas bajas de las cuencas de montaña en la Sierra Ecuatoriana.

Álzate y Sánchez (2018), realizaron un análisis multitemporal por teledetección del cambio de la cobertura vegetal en las veredas de Pantanillo y Las Palmas del municipio de Envigado, en el periodo comprendido entre los años 1997 y 2016. Obtuvieron a través de la clasificación supervisada de imágenes Landsat y la interpretación de las ortofotografías, la estimación de las tasas de cambio en la cobertura vegetal. El bosque es la cobertura que más área ha perdido, y se ha asociado al crecimiento del área urbana y del suelo desnudo. Estas coberturas están íntimamente ligadas por los métodos constructivos o, en algunos casos, el cambio del suelo entre pastos limpios a

suelos desnudos por preparación para cultivos transitorios. Los cambios más acentuados ocurrieron en el sector del Alto de Palmas, con el cambio de bosque y pastizales, a áreas antrópicas. En la vereda Pantanillo con cambios entre suelos desnudos, pastizales en menor medida, hacia antrópico.

Márquez et al., (2019). Realizaron una modelización de los parámetros físico-químicos y biológicos del embalse de agua Pao Cachinche- Venezuela, utilizando la superficie reflectancia de imágenes satelitales Landsat. En este trabajo, se proponen modelos lineales multivariantes para estimar los parámetros físico-químico y biológicos del depósito de agua del Embalse Pao Cachinche, utilizando la reflectancia de la superficie de imágenes de satélite Landsat. Se incluyen ocho parámetros: 1) Fósforo total, 2) Total nitrógeno, 3) Plancton, 4) DBO, 5) DQO, 6) Coliformes totales, 7) Conductividad eléctrica y 8) pH. Los resultados indican que el ajuste entre las características de calidad del agua y la reflectancia de la superficie extraída de las imágenes satelitales de Landsat es exitosa debido al R^2 y la estadística indica que los modelos tal como se ajustan explican entre el 70,18 y el 75,18% de la variabilidad en los parámetros físico-químicos y biológicos. Ha sido encontrado por cada uno de los modelos que solo una banda espectral podría ser eliminada debido al coeficiente asociado a las reflectancias registradas en esta banda tienen una baja influencia significativa en el resultado de la modelización de parámetros físicoquímicos y biológicos.

2.3 Bases teóricas

2.3.1 Cuencas hidrográficas.

La cuenca hidrográfica es un área de captación natural del agua de precipitación de la lluvia que hace converger los escurrimientos hacia un único punto de salida. Este punto de salida es denominado *exutorio*. Está compuesta por un conjunto de superficies vertientes constituidas por la superficie del suelo y de una red de drenaje formada por los cursos de agua que confluyen hasta llegar a un lecho único en el punto de salida (Tucci, 2004).

En función de la dinámica hidrológica se pueden reconocer tres zonas funcionales distintas al interior de una cuenca (Garrido et al., 2010):

1. La zona de captación, de cabecera o cuenca alta: son áreas aledañas a la divisoria de aguas o parteaguas en la porción altimétrica más elevada de la cuenca; abarca sistemas de montaña y lomeríos. En esta zona se forman los primeros escurrimientos (arroyos) luego que los suelos han absorbido y retenido toda el agua según su capacidad.
2. Zona de almacenamiento, de transición o cuenca media: es una zona de transición entre la cuenca alta y la cuenca baja, donde los escurrimientos iniciales confluyen aportando diferentes caudales, cuyas concentraciones de sedimentos, contaminantes y materia orgánica

diferirán en función de las actividades que se realizan en cada subcuenca; es un área de transporte y erosión.

3. La zona de descarga, de emisión o cuenca baja: es el sitio donde el río principal desemboca en el mar o bien en un lago. Se caracteriza por ser una zona de importantes ecosistemas, como los humedales terrestres y costeros, además de muy productiva para el uso agrícola y donde se acumulan los impactos de toda la cuenca.

2.3.2 Caracterización fisiográfica o fluviomorfológica de cuencas hidrográficas.

Los datos fisiográficos son todos aquellos datos que pueden ser extraídos de mapas, fotografías aéreas e imágenes satelitales. Básicamente son áreas, largos, declives y cobertura del suelo obtenidos directamente o expresados por índices (Tucci, 2004).

Algunas características e índices son presentados a continuación:

1. Área de la cuenca: fundamental para definir el potencial de generación de escurrimiento de la cuenca hidrográfica, una vez que su valor multiplicado por la lámina de la lluvia precipitada define el volumen de agua recibido por la cuenca. Es obtenida a través de la proyección vertical de la línea del divisor de aguas sobre el plano. El área de la cuenca es expresada en hectáreas (ha) o kilómetros cuadrados (km²) y puede ser obtenida por planimetrage de mapas o

por cálculos a partir de mapas digitalizados utilizando herramientas computacionales de SIG (Sistemas de Informaciones Geográficas) horizontal (Tucci, 2004).

2. Largo del río principal (L): es determinado a partir del perfil longitudinal del curso de agua midiéndose el largo del trecho entre la naciente más distante y el punto de interés o exutorio (Tucci, 2004).
3. Perfil longitudinal: los perfiles longitudinales son obtenidos en mapas planialtimétricos y representan la variación de niveles a lo largo de la extensión del río principal (Tucci, 2004).
4. Declividades: la declividad es muy importante para la modelación del escurrimiento una vez que la velocidad de flujo depende de esta variable. Puede ser determinada por varios métodos. En general consiste en la razón entre la diferencia de las altitudes de los puntos extremos de un curso de agua y la extensión de este curso de agua, y puede ser expresada en % o m/m (Paiva y Paiva, 2001). La diferencia entre la elevación máxima y la elevación mínima resulta en la amplitud altimétrica de la cuenca. Esta es la manera más simple de calcular el declive, aunque, para ríos que recorren relieves muy diferenciados es necesario realizar algunas correcciones.
5. Índices de forma: la forma de una cuenca hidrográfica también desempeña un papel importante en su comportamiento hidrológico.

A partir de la comparación de cuencas con características semejantes, identificamos que las cuencas con forma más circular presentan una tendencia de generar picos de crecienta más elevados en relación a cuencas alargadas.

Las cuencas circulares presentan diversos drenajes con extensiones semejantes, y así el recorrido de los escurrimientos es más corto generando respuestas más rápidas y concentradas a eventos de lluvia. Mientras que las cuencas más alargadas, en general, presentan un río principal con diversos tributarios menores donde las aguas tienen que recorrer un camino más largo hasta el exutorio. De este modo, tiende a presentar crecientes más distribuidas con menor caudal de pico (Villela y Matos, 1975).

6. Densidades: la densidad de drenaje es un indicador del relieve superficial y de las características geológicas de la cuenca. Este índice permite evaluar la eficacia de drenaje de una cuenca, o sea, la eficiencia en la concentración del escurrimiento superficial en el exutorio de la cuenca. Cuanto mayor la densidad de drenaje, mayor la capacidad de la cuenca de realizar escurrimientos rápidos en el exutorio, así como deflujos de estío bajos.
7. Tiempo de concentración: es el tiempo que el agua lleva para recorrer desde el punto más distante de la cuenca hasta el exutorio. Cuando se conoce bien la relación.

8. Jerarquización fluvial: la red fluvial de drenaje de una cuenca hidrográfica puede ser clasificada según una jerarquía, siendo la más utilizada la de Horton modificada por Strahler. La jerarquización de Horton presenta una lógica bien definida, lo que posibilita el ordenamiento automatizado a partir de programas computacionales de GIS. Este sistema de ordenamiento tiene el siguiente principio:
- a) Canales de primer orden son los menores identificables caracterizados por drenajes intermitentes.
 - b) Canales de segundo orden son formados por la confluencia de dos canales de primer orden. Esta lógica es aplicada a las demás, donde la confluencia de dos canales de orden i , resulta en un canal de orden $i+1$ aguas abajo.
 - c) Donde un canal de orden menor encuentra un de orden mayor el canal aguas abajo mantiene el mayor de los dos órdenes.
 - d) El orden de la cuenca hidrográfica es designado como el orden del río que pasa por el exutorio.

2.3.3 Uso y cobertura de la tierra. Cobertura vegetal.

Conceptualmente se ha logrado la separación entre cobertura y uso de la tierra, que anteriormente se empleaban indistintamente; el término "Uso" implica la utilidad que presta un tipo de cobertura al ser humano. El uso se

relaciona con las actividades humanas o las funciones económicas de una porción específica de la Tierra (como el uso urbano o industrial, de reserva natural, etc) (IDEAM et al., 2008).

La "Cobertura" de la tierra, es la cobertura (bio) física que se observa sobre la superficie de la tierra, en un término amplio no solamente describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, sino que también describen otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua (IDEAM et al., 2008).

En términos puntuales para la delimitación de las coberturas de la Tierra, la cobertura se define como la unidad delimitable que surge a partir de un análisis de respuestas espectrales determinadas por sus características fisionómicas y ambientales, diferenciables con respecto a la unidad próxima.

Existen diversos sistemas de clasificación, en virtud de su relevancia institucional e importancia como estándares internacionales de clasificación, se nombran a continuación los más relevantes:

1. Sistema de clasificación de coberturas y usos de la tierra para utilización con sensores remotos. Servicio Geológico de los Estados Unidos (Anderson et al., 1976).
2. Sistema de clasificación de la cobertura de la tierra (FAO, 1995), (Di Gregorio y Jansen 2000).

3. Sistema de clasificación CORINE (Coordinación de Información del Medio Ambiente) Land Cover (Bossard et al., 2000).
4. Sistema de clasificación Global Land Cover para sur América.
5. Sistema de clasificación CORINE adaptado para Colombia (IDEAM et al., 2008).
6. Leyenda de la Unión Geográfica Internacional (Pacheco et al., 2006).

Cobertura Vegetal

La cobertura vegetal puede ser definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. Dentro de los principales biomas se encuentran, (Attenborough, 1993):

1. Tundra
2. Taiga o bosque de coníferas
3. Bosques templados
4. Pluvisilva tropical
5. Prados
6. Bosque mediterráneo
7. Desiertos

2.3.4 Fundamentos de la teledetección. Naturaleza de la radiación. Interacciones entre la radiación y los objetos.

Fundamentos de la teledetección.

La teledetección es una técnica que permite obtener información a distancia de objetos sin que exista un contacto material. Para que ello sea posible es necesario que, exista algún tipo de interacción entre los objetos observados; situados sobre la superficie terrestre, marina o en la atmósfera; y un sensor situado en una plataforma (Alonso, 2006).

En el caso de la teledetección, la interacción que se produce va a ser un flujo de radiación que parte de los objetos y se dirige hacia el sensor. Este flujo puede ser, en cuanto a su origen, de tres tipos:

- ✓ Radiación solar reflejada por los objetos (luz visible e infrarrojo reflejado).
- ✓ Radiación terrestre emitida por los objetos (infrarrojo térmico).
- ✓ Radiación emitida por el sensor y reflejada por los objetos (radar).

La radiación (solar reflejada, terrestre o emitida por el sensor y reflejada) que llega de la superficie terrestre y que ha atravesado la atmósfera, es almacenada en formato digital. Una vez recuperados los datos en el centro de

control del satélite, permitirán obtener información acerca de la superficie terrestre y de la atmósfera. El tipo de información que se obtiene dependerá de la longitud de onda en la que el sensor capte la radiación.

El análisis de esta información permite el reconocimiento de las características de los objetos observados y de los fenómenos que se producen en la superficie terrestre, oceánica y en la atmósfera. Por tanto, son muchas las ciencias, tanto naturales como sociales, interesadas en su uso (Geografía, Geología, Meteorología, Agronomía, entre otros) (Alonso, 2006).

Tabla N°1: Regiones del espectro electromagnético (Lizana, 2012).

Región	Rango de longitudes
Rayos γ	<0,03nm
Rayos X	0,03nm- 3nm
Ultravioleta	3nm- 0,3 μ
Visible	0,3 μ - 0,7 μ
Infrarrojo	0,7 μ - 300 μ
Microondas	300 μ - 20cm
Radio- TV	>200cm

Naturaleza de la radiación.

La naturaleza de la radiación electromagnética puede ser explicada a partir de dos modelos aparentemente contradictorios y en el fondo complementarios. El modelo de onda asume que la radiación se produce en forma de ondas que resultan de oscilaciones en los campos eléctrico y

magnético en las inmediaciones de los objetos y se desplazan por el espacio a la velocidad de la luz. Las ondas se definen fundamentalmente por su longitud (λ) o distancia entre dos picos de onda (se mide en μm , es decir 10^{-6} metros). El modelo de partícula asume que la energía viaja como un flujo de elementos discretos: los fotones. La energía transportada por cada fotón (Q) depende de la longitud de onda, de este modo ambos modelos se relacionan mediante la Ecuación N°1:

$$\text{N}^{\circ}1: \quad Q = \frac{hc}{\lambda}$$

Donde h es la constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34} \text{Js}$) y c la velocidad de la luz (300000m/s). La ecuación (1) implica que a menor longitud de onda mayor es la energía transportada por la radiación.

El conjunto de todas las longitudes de onda se denomina espectro electromagnético (Tabla N°1). Dentro del espectro electromagnético se distinguen una serie de regiones, las más utilizadas por las diferentes técnicas de teledetección son la luz visible, el infrarrojo reflejado, el infrarrojo térmico y las microondas (radar).

Cualquier cuerpo en la naturaleza emite radiación y lo hace con diferentes longitudes de onda. La cantidad de energía que emite un cuerpo por radiación como la distribución de esta energía en diferentes longitudes de onda

depende fundamentalmente de la temperatura de dicho cuerpo (ley de Stefan-Boltzman), Ecuación N°2:

N°2:
$$M = \sigma * T^4$$

Por otro lado, la ley de Wien, Ecuación N°3:

N°3:
$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{2898}{T}$$

Nos permite calcular a que longitud de onda se produce el pico de máxima emisión de energía de un cuerpo a una temperatura T. Como puede observarse a mayor temperatura menor longitud de onda. Tanto en la ecuación No. 2 como en la No. 3, la temperatura se expresa en grados Kelvin.

La temperatura del Sol es de aproximadamente 6000°K mientras que la de la Tierra es de 300°K. Esto significa que la radiación solar va a ser máxima para una longitud de onda de 0.48 μ (región visible) y la terrestre máxima en una longitud de onda de 9.66μ (infrarrojo térmico).

Determinados fenómenos de la superficie terrestre (por ejemplo, los incendios) implican una temperatura mucho mayor (548,5–693,5°K) que la

habitual de la superficie terrestre, esto significa que el total de radiación emitida va a ser mucho mayor y que el pico de emisión va a estar en longitudes de onda de $5.28 - 4.3 \mu$, también en el infrarrojo térmico, pero con valores considerablemente diferentes a los correspondientes a la temperatura normal de la Tierra.

Por tanto, puede concluirse que la radiación solar domina aquellas regiones del espectro electromagnético que corresponden a la radiación visible y al infrarrojo reflejado. La radiación terrestre domina el infrarrojo térmico, mientras que las radiaciones que corresponden a las microondas (radar) no aparecen en la naturaleza, deben ser por tanto de origen artificial, generadas por el propio sensor que las recibe posteriormente reflejadas.

Interacciones entre la radiación y los objetos.

Todos los objetos (independientemente de la radiación que emitan) van a recibir radiación, fundamentalmente del sol, que, en función del tipo de objeto que estemos considerando, puede seguir tres caminos:

- ✓ Reflejarse (la radiación es reenviada de vuelta al espacio).
- ✓ Absorberse (la radiación pasa a incrementar la energía del objeto).
- ✓ Transmitirse (la radiación se transmite hacia los objetos situados detrás).

La fracción de energía que se refleja se denomina reflectividad o albedo (ρ); la fracción de energía que se absorbe se denomina absorptividad (α); la fracción de energía que se transmite se denomina transmisividad (τ) cumpliéndose que $\rho + \tau + \alpha = 1$. Las tres variables tienen lógicamente valores entre 0 y 1.

La interacción de la radiación con la atmósfera y con los objetos terrestres, es decir los valores de ρ , τ y α de un cuerpo concreto, va a depender de la longitud de onda de que se trate y de las características de ese cuerpo (Alonso, 2006).

Unas primeras líneas generales acerca del comportamiento de diferentes objetos respecto a su interacción con la radiación serían:

✓ Atmósfera despejada:

- ρ muy baja para todas las longitudes de onda
- α depende de la longitud de onda
- τ depende de la longitud de onda

✓ Nubes:

- ρ muy alta en el visible
- α depende de la longitud de onda
- τ depende de la longitud de onda

✓ Agua:

- ρ muy baja en todas las longitudes de onda
 - α depende de la longitud de onda
 - τ depende de la longitud de onda
- ✓ Superficie terrestre:
- ρ y α muy variable, dependiendo de la longitud de onda y del tipo de cobertura
 - τ nulo

2.3.5 Interacción de los elementos de la superficie terrestre con la radiación.

De cara a la identificación de objetos y procesos en la superficie terrestre, lo que nos interesa es la reflectividad de estos objetos respecto a las diferentes longitudes de onda. Cada tipo de material, suelo, vegetación, agua, etc. reflejará la radiación incidente de forma distinta, lo que permitirá distinguirlo de los demás si medimos la radiación reflejada. A partir de medidas de laboratorio se ha obtenido la reflectividad para las distintas cubiertas en diferentes longitudes de onda (Alonso, 2006).

Si asumimos que la influencia de la atmósfera es mínima, ya que estamos trabajando en una ventana atmosférica y en un día despejado, podemos calcular la reflectividad como (Ecuación N°4):

N°4:
$$\rho = \frac{R_{sen}}{R_{sol}}$$

Donde R_{sen} es la radiación que ha recibido el sensor procedente de un punto de la superficie terrestre y R_{sol} es la radiación que, emitida por el sol en las longitud de onda correspondiente al canal con que se está trabajando, llega a dicho punto de la superficie terrestre.

El gráfico que, para cada longitud de onda, nos da la reflectividad en tanto por ciento se conoce como *signatura espectral* y constituye una marca de identidad de los objetos. Resulta así fácil por ejemplo distinguir entre suelo y vegetación, e incluso entre diferentes tipos de suelo o diferentes tipos de vegetación.

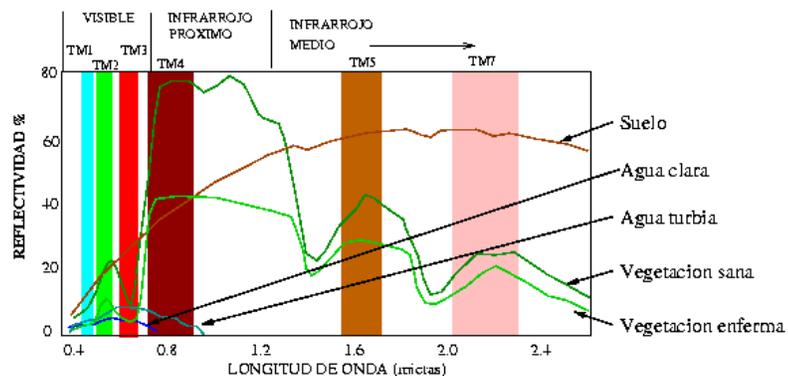


Figura Nº 2: Respuestas espectrales a distintas longitudes de onda (Alonso, 2006).

2.3.6 Respuesta espectral de la vegetación.

La vegetación sana tiene una reflectividad baja en el visible, aunque con un pico en el color verde debido a la clorofila, ese pigmento aparece en concentraciones entre 5 y 10 veces mayores que otros como el caroteno). La reflectividad es muy alta en el infrarrojo reflejado o próximo debido a la escasa

absorción de energía por parte de las plantas en esta banda. En el infrarrojo medio hay una disminución especialmente importante en aquellas longitudes de onda en las que el agua de la planta absorbe la energía. Durante el otoño, las hojas pierden los cloroplastos ya que dejan de ser necesarios, por tanto, deja de ser la clorofila el pigmento principal y las plantas adquieren un color pardo-amarillento debido a la cada vez mayor importancia relativa de carotenos y otros pigmentos.

Esta curva tan contrastada se debilita en el caso de la vegetación enferma en la que disminuye el infrarrojo y aumenta la reflectividad en el rojo y azul. Se observa también que la reflectividad de una planta depende de su contenido en agua. Cuando el contenido de agua aumenta disminuye la reflectividad ya que aumenta la absorción de radiación por parte del agua contenida en la planta.

La cantidad de energía de los fotones que viajan con longitudes de onda mayores (infrarrojo cercano) es demasiado baja para ser aprovechada por la vegetación por lo que sólo se absorbe en torno al 5 %, el resto se transmite (40 %) o refleja (55 %). Sin embargo, la energía transmitida acabará llegando a otra hoja situada por debajo, y por tanto el 55% de ese 40% se volverá a reflejar. Este proceso, repetido en diferentes capas hace que se incremente el tanto por ciento de energía reflejada por un dosel vegetal. El envejecimiento de la planta conlleva también una reducción en la reflectividad en el infrarrojo.

Las variaciones en la estructura interna de las hojas son la causa principal de que los patrones de respuesta espectral sean diferentes de unas especies a otras.

En cuanto al infrarrojo medio, el agua presente en los tejidos vegetales absorbe la radiación en diversas longitudes de onda hasta alcanzar valores de $\alpha = 0,9$ que afectan incluso a las longitudes de onda vecinas de aquellas en las que se produce máxima absorción. En general cuanto menor sea el contenido de agua de una planta, mayor será su reflectividad en el infrarrojo medio.

2.3.7 Caracterización de las imágenes de satélite

Plataformas, sensores y canales.

Se entiende por plataforma los satélites (LANDSAT, METEOSAT, NOAA, SPOT) o aviones que transportan los aparatos necesarios para captar, almacenar y transmitir imágenes a distancia (sensores).

Un sensor es el aparato que reúne la tecnología necesaria para captar imágenes a distancia y que es transportado en una plataforma. Puede captar información para diferentes regiones del espectro y cada una de estas regiones se denomina canal o banda.

Por ejemplo, Landsat es una plataforma que contiene dos sensores Landsat-TM y Landsat-MSS, el primero de los cuales tiene 7 bandas (azul, verde, rojo, 3 en el infrarrojo cercano) y 1 en el infrarrojo térmico y el segundo 4 bandas (verde, rojo y 2 en el infrarrojo cercano). La Figura N° 3 muestra la ubicación, dentro del espectro electromagnético, de las 6 bandas de Landsat que corresponden con el espectro solar.

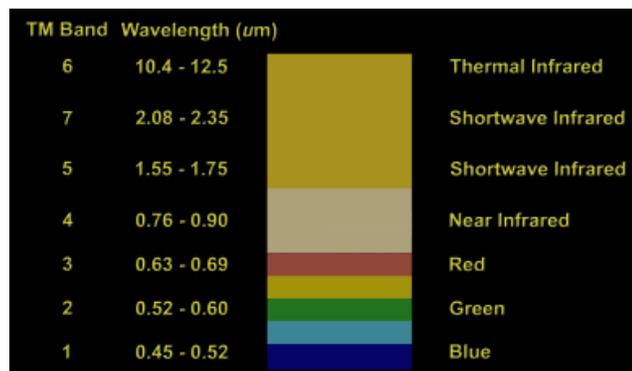


Figura N° 3: The spectral range of the Landsat Thematic Mapper (TM) instrument (NASA, 2017).

La salida de radiación (emitida o reflejada) de la superficie terrestre es un fenómeno continuo en 4 dimensiones (espacio, tiempo, longitud de onda y radiancia). Un sensor debe muestrear en este continuo discretizándolo en cada una de esas dimensiones. El modo en que esta discretización se lleva a cabo define los cuatro tipos de resolución con los que se trabaja en teledetección:

- ✓ Resolución espacial (tamaño de pixel).

- ✓ Resolución temporal (tiempo que tarda el satélite en tomar dos imágenes del mismo sitio).
- ✓ Resolución espectral (capacidad de discriminar entre longitudes de onda vecinas en el espectro, así como el número de bandas disponible).
- ✓ Resolución radiométrica (número de intervalos de intensidad que puede captar el sensor).

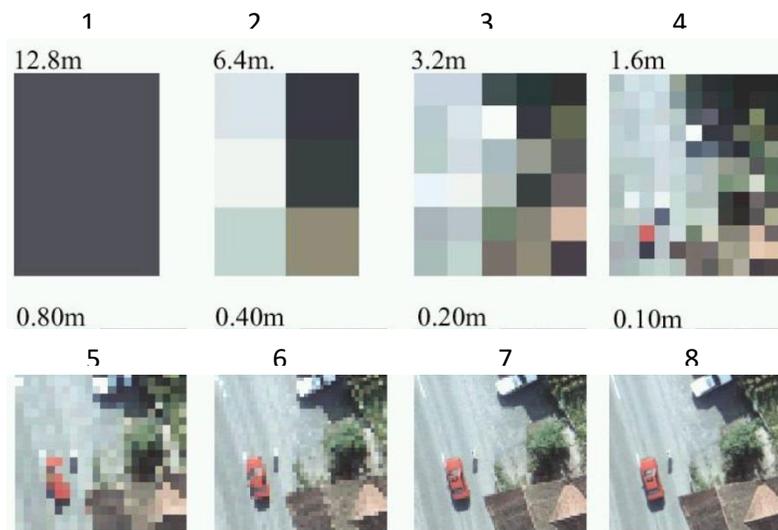


Figura N° 4: Resolución espacial de una misma imagen (Alonso, 2006).

La Figura N° 4 muestra como cambios en la resolución espacial de una imagen afectan a su calidad. La imagen procede del sensor Quick Bird, con una resolución espacial de aproximadamente 1 metro, y es una composición de 3 bandas (rojo, verde y azul) en color real, la resolución radiométrica es de 256 niveles de gris por banda. En la imagen se ha simulado una reducción de la resolución espectral agrupando las tres bandas del visible en una sola banda pancromática que se representa con 256 niveles de gris. En la quinta y sexta

secuencia simulan una reducción de la resolución radiométrica a 4 niveles por banda en lugar de los 256 anteriores, lo que da un total de 12 colores para la quinta secuencia y 4 para la sexta. Las dos últimas secuencias muestran una reducción de la resolución espacial a 0.20 y 0.10 metros respectivamente.

En la Tabla N° 2 aparecen estas características para varios sensores y plataformas. Se trata de un resumen ya que en algunos casos (Spot, Ikonos) se dispone también de una banda pancromática (todo el visible integrado, como si se tratase de una fotografía en blanco y negro) generalmente con mayor resolución espacial que las restantes; en otros casos no todas las bandas tienen la misma resolución espacial.

La altura a la que se sitúa el satélite y sus movimientos van a condicionar las características geométricas y la resolución temporal de las imágenes que producen.

Los satélites que como Meteosat se sitúan en órbita geoestacionaria (36.000 Km) permanecen fijos y producen una imagen que abarca la mayor parte de la porción del globo terrestre a la que apuntan, sin embargo, las distorsiones que aparecen hacia los polos limitan su utilización a la porción entre 50°N y 50°S. El área de la superficie abarcada por cada pixel es necesariamente grande (2500 o 5000 metros dependiendo de las bandas) su resolución espacial es por tanto pequeña. Al permanecer fijos su resolución

temporal puede ser muy grande, en el caso de Meteosat hay una imagen cada 30 minutos.

El problema de la correlación negativa entre resolución espacial y temporal se está solucionando en parte debido a la existencia mejores sistemas de almacenamiento de datos y al desarrollo de la teledetección aerotransportada, los sensores se colocan en aviones que vuelan a la altura (resolución espacial) deseada en el momento que se requiera.

Tabla Nº 2: Características de los principales sensores utilizados (Lizana, 2012).

Sensor	Res. espacial	Tamaño de imagen	Res. temporal	Res. Radiométrica	Res. espectral
Meteosat	2500 m	Toda la esfera	0.5 horas	256 ND	1Vis 1Ir 1 It
NOAA AVHRR	1100 m	2700 x 2700 Km	12 horas	1024 ND	2Vis 1Ir 1It
Landsat TM	30 m	185x185 Km	16 días	256 ND	3Vis 3Ir 1It
SPOT HRV	20 m	60x60 Km	20 días	256 ND	2Vis 1Ir
SPOT Vegetation	1150 m	2200x200 Km	1 día	1024 ND	2Vis 2Ir
MODIS	250 - 100 m	2330x2330 Km	1	1024 ND	36 bandas
IKONOS	4 m	100x100 Km	a petición	2048 ND	3Vis 1Ir

Al recibir la radiación procedente de la superficie terrestre, el sensor almacena un número entero, se trata de un intervalo de intensidad o nivel digital a partir del cual se puede obtener de nuevo la radiación recibida mediante una sencilla transformación lineal. El número de niveles de intensidad se denomina resolución radiométrica.

Una imagen de satélite en estado bruto es un conjunto de imágenes (una por banda) similares a las que se obtienen haciendo una fotografía digital.

Los pixeles están organizados en un sistema de filas y columnas, pero sin referencia a coordenadas reales.

2.3.8 Análisis de imágenes de satélite en un SIG.

Una imagen de satélite en bruto, tal como normalmente llega al usuario final, consiste en un conjunto de matrices, una por cada canal del sensor, en la que aparecen números del 0 al 255. El cero indica que no llega nada de radiación desde ese punto y el 255 que llega el valor más alto de radiación. Estos valores se denominan *niveles digitales* y será necesario transformarlos en algún tipo de variable física (Alonso, 2006).

El tratamiento de una imagen de satélite previo a su análisis incluye:

- ✓ Georreferenciación (paso de un sistema de filas y columnas a un sistema de coordenadas estándar). Para ello debe obtenerse una muestra de puntos de control de los que conozcamos tanto sus coordenadas reales como sus coordenadas en la imagen, deben ser por tanto objetos de un tamaño adecuado para resultar identificables tanto en la imagen como sobre el terreno, el tamaño dependerá lógicamente de la resolución de la imagen. A partir de estos puntos de control se obtendrán por regresión unas ecuaciones que permitirán a cada par fila, columna un par de coordenadas X, Y.

- ✓ Paso de nivel digital a radiación recibida por el sensor. Normalmente a través de una ecuación lineal cuyos parámetros se suministran junto con la imagen. En la Tabla N° 3 aparecen los parámetros para las 6 bandas más utilizadas del sensor Landsat- TM, junto con la irradiancia solar extraterrestre, cantidad de energía solar que llega al límite de la atmósfera que se utiliza para calcular la reflectividad.
- ✓ Corrección atmosférica (para eliminar las interferencias producidas por la absorción, dispersión y refracción en la radiación recibida).
- ✓ Corrección de luminosidad (para eliminar el efecto de solana-umbría).
- ✓ Dependiendo de la región del espectro de que se trate:
 - Calculo de la reflectividad dividiendo la radiación recibida por el sensor entre la radiación estimada en superficie (ventana atmosférica en el visible). A partir de la reflectividad en diferentes bandas pueden obtenerse índices que se comporten como indicadores de desertificación. Puede también clasificarse los distintos pixeles de la imagen en función de sus valores de reflectividad en clases que se correspondan con tipos de suelo, vegetación, etc. Ejemplos: Landsat, NOAA.
 - Estimación de la concentración del gas que absorbe la radiación en la región del espectro manejada (zona de absorción): Ejemplos TOMS y Meteosat.

- Estimación de la temperatura del cuerpo emisor utilizando la banda de infrarrojo térmico. Casi todos los satélites recogen radiación en alguna región del infrarrojo térmico.

En ocasiones no se llevan a cabo todos los pasos incluidos, depende de los objetivos que se persigan con el empleo de la teledetección, en algunos casos es suficiente trabajar con los ND georreferenciados. El paso siguiente suele incluir todas o alguna de las siguientes fases:

- ✓ Visualización y composiciones de color.
- ✓ Obtención de variables físicas a partir de los valores de reflectividad.
- ✓ Clasificación de la imagen.

Tabla Nº 3: Parámetros del sensor Landsat TM (Lizana, 2012).

Banda	a0	a1	E0
1 (Azul)	-6.2	0.768	1970
2 (Verde)	-6	0.818	1843
3 (Rojo)	-4.5	0.64	1555
4 (Infrarrojo a)	-4.5	0.635	1047
5 (Infrarrojo b)	1	0.128	227.1
6 (Infrarrojo térmico)			
7 (Infrarrojo c)	-0.35	0.0424	80

2.3.9 Visualización de imágenes

Tradicionalmente se ha dividido el análisis de imágenes de satélite en 2 fases, un análisis visual y un análisis digital. El primero es similar en muchos aspectos a la fotointerpretación clásica con las ventajas que aporta la fotografía digital en cuanto a las posibilidades de retocar y realzar las

imágenes. Sin embargo, una imagen de satélite en bruto presenta un aspecto bastante apagado, por lo que el análisis visual no resulta sencillo. En teledetección se han desarrollado diferentes técnicas que permiten resaltar determinados aspectos para facilitar este análisis.

Aunque el espectro electromagnético abarca un amplio número de regiones y el ojo humano tiene una gran capacidad de discriminación de estos colores, podemos descomponer cualquier color en tres componentes (azul, verde y rojo) que corresponden a tres regiones del espectro visible. Los dispositivos de visualización de imágenes (monitores, televisiones, etc) forman sus imágenes mediante la combinación de diferentes niveles de intensidad en estos tres colores. Cada pixel en pantalla es representado mediante 3 puntos de luz, rojo, verde y azul (composición RGB) al dispositivo encargado de pintar todos los puntos de un color se le denomina cañon. De este modo existen el cañon del rojo, el del verde y el del azul.

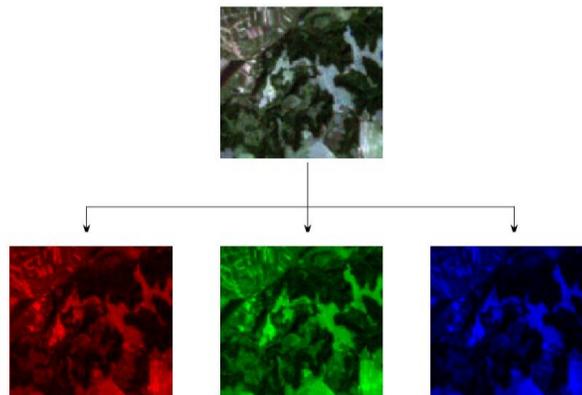


Figura N° 5: Descomposición de una imagen en color en sus componentes RGB (Alonso, 2006).

En el ejemplo de la Figura N° 5 se puede ver la descomposición de una imagen de colores vivos en 3 imágenes que reflejan la intensidad en el azul, el verde y el rojo.

Una imagen de satélite tiene varias bandas, algunas de ellas responden a estos colores y otras a regiones fuera del espectro visible. Para visualizarlas podremos pasar las diferentes bandas por cada uno de los cañones o por todos a la vez (imagen en blanco y negro).

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

En este capítulo se describe el tipo y diseño de investigación, las etapas y actividades desarrolladas para lograr cada uno de los objetivos planteados.

3.1 Tipo de Investigación:

Partiendo de las características del planteamiento del problema y de los objetivos de esta investigación, se define de tipo descriptiva, según (Arias, 2013).

3.2 Diseño de la investigación:

Está clasificada como una investigación tipo no experimental (Hernández et al. 2006).

3.3 Población y muestra:

En esta investigación se utilizaron 36 imágenes satelitales. Fueron muestreadas mensualmente durante 3 años consecutivos. De las 36 imágenes disponibles, solo se utilizaron las pertenecientes al mes de diciembre, periodo 2015, 2016 y 2017 (época de sequía).

3.4 Área de estudio:

El estudio se realizó en la cuenca del río Chirgua, Municipio Bejuma Estado Carabobo, Venezuela. Sus coordenadas son 9°55'26" N y 68°10'14" W en formato DMS (grados, minutos, segundos) o 9.92389 y -68.1706 (en grados decimales). Su posición UTM es EL99 y su referencia Joint Operation Graphics es NC19-11.

3.5 Fases de la Investigación:

3.5.1 Recolección de datos

- ✓ **Selección de imágenes provenientes del satélite Landsat 8 (OLI) Periodo 2015- 2017, época de sequía. (Objetivo N°1)**

Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales fueron obtenidas a través del portal del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), web site: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Se utilizó el satélite Landsat 8 (OLI), operado por la NASA, el cual permitió capturar información de la cobertura terrestre.

Las imágenes Landsat 8 son de resolución espacial media y tienen las siguientes características que se pueden ver en la Tabla N°4.

Tabla N° 4: Característica técnicas de imágenes del satélite LandSat 8.

Componente	Característica técnicas
Nivel de tratamiento	1T (Imágenes ortorectificadas)
Bandas espectrales	11 (Coastel aerosol, Blue, Green, Red, NIR, SWIR1, SWIR2, Panchromatic, Cirrus, TIRS1, TIRS2)
Sensor	Multiespectral (ushbroom imager)
Resolución espacial	15 metros (Panchromatic) 30 metros (VIS, SWIR) 100 metros (TIRS)
Resolución radiométrica	16 bits
Resolución temporal	16 días
Formato de entrega	GeoTIFF
Sistema de coordenadas	UTM/ WGS- 84/ Zona 17
Metadatos	Formato TXT
Tipo de licencia	Gratuito
Tamaño de escena	180 Km* 180 Km (path/row)

Fuente: Nasa (2019).

3.5.2 Procesamiento de datos

Las imágenes fueron procesadas bajo la interfaz de ArcGis 10.1, Erdas Imagine y Envi, a través del cual se logró obtener los mapas de uso y cobertura de la tierra; número de curva (CN); precipitación (P); almacenamiento de agua en suelo (S), y por último la estimación de la lluvia efectiva, para poder así dar respuesta a los objetivos planteados.

Correcciones atmosféricas

Las correcciones atmosféricas incluyeron: radiométrica, ambiental, atmosférica y topográfica, todas aplicadas en ArcGis- ArcMap 10.1. Los criterios para seleccionar las imágenes de Landsat fueron: 1) la misma temporada de cada año y 2) la cobertura más baja de: nubes, aerosoles y neblina (Márquez et al., 2019).

Modelo de elevación digital (DEM)

El modelo de Elevación Digital representa la proyección del terreno sobre el nivel del mar, a partir de las imágenes obtenidas del satélite Alos Palsar. Se representa las diferentes alturas de proyección del terreno, en un rango de 0 a 1800 m.s.n.m, siendo la altura de la ubicación de la cuenca del rio Chirgua de 487 m.s.n.m. Este satélite tiene una resolución de 12,5 m.

A través del uso del Software ArcGis 10.1 bajo la herramienta de Hidrología que contiene el programa, se obtuvieron los factores topográficos (longitud y pendiente) y los factores hidrológicos (dirección y acumulación de flujo).

✓ **Elaborar mapas de uso y cobertura de la tierra (Objetivo N°2).**

El uso y cobertura de la tierra fue estimado aplicando el método de clasificación supervisada. Las regiones de interés (ROIs), fueron: cobertura vegetal, uso agrícola, suelos degradados, uso urbano, nubes, sombras y no clasificado.

✓ **Determinar variables asociados al uso, cobertura y tipo de suelo (Objetivo N°3).**

Numero de Curva (CN)

Dependiendo de la clasificación de los suelos, uso de la tierra, tratamiento o práctica y de la condición hidrológica, se determina el *Número de Curva*. La condición de humedad utilizada, fue la condición II, según el método del US SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS). La ecuación implementada fue la N° 5.

Nº 5:

$$CNI = \frac{4.2CNII}{10 - 0.058CNII}$$

Donde:

CN I = condición de humedad antecedente seca.

CN II = condición de humedad antecedente normal.

Precipitación (P)

La precipitación se obtuvo a través de la aplicación modelación geoestadística contenida en el programa de sistema de información geográfica ArcGis 10.0.

Almacenamiento de agua en suelo (S)

Para estimar el almacenamiento de agua en suelo, en base al valor obtenido de (CN). Se relaciona con (S) por la ecuación Nº 6:

Nº 6:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

(S) se expresa en mm

La principal limitación de esta ecuación lo constituye la estimación de (S), lo cual depende de factores edáficos, condiciones de la superficie y la humedad antecedente. La intensidad de la lluvia puede modificar la intensidad de infiltración

de los suelos. Numéricamente el valor máximo de (S) es igual a la capacidad útil de almacenamiento del suelo.

- ✓ **Estimar la producción hídrica (escorrentía) de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela (Objetivo N°4).**

Para estimar la lluvia efectiva se utilizó la siguiente ecuación:

N°7:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Q= lluvia en mm.

P= precipitación en mm.

S= almacenamiento de agua en suelo.

3.6 Obtención de resultados:

A través del procesamiento de las imágenes obtenidas del satélite Landsat 8 (OLI), se obtuvieron los siguientes mapas:

- Mapa de uso y cobertura de la tierra.
- Numero de curva (CN).
- Precipitación (P).

- Almacenamiento de agua en suelo (S).
- Lluvia efectiva.

Por medio de estos mapas se logró dar respuesta a cada uno de los objetivos planteados de la investigación.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4. 1 Selección de imágenes del satélite Landsat, periodo (2015-2017):

Se obtuvieron y procesaron 36 imágenes provenientes del satélite Landsat 8 (OLI), estas fueron tomadas mensualmente durante el periodo 2015-2017. De las 36 imágenes solo se seleccionaron 3. Cada imagen correspondió a un año del periodo seleccionado, todas tomadas en el mes de diciembre. En la Tabla N° 5, se observan las características de cada imagen. Como una muestra, la imagen del año 2015 es identificada con el código (LC80050532015335LGN01), día de captura (2015-12-01), hora (14:52:45.6211550Z), cobertura de la nube (20.28), operador (OLI), azimuth (145.3093) y zenith (38.8992).

Tabla N° 5: Características de las imágenes seleccionadas del satélite Landsat 8 (OLI) que contienen a la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo. Venezuela

Nº	Cod. de identificación de la escena	Fecha	Hora	Cob. de la nube	Operador	Azimuth	Zenith
Dic 15	LC80050532015335LGN01	2015-12-01	14:52:45.6211550 Z	20.28	OLI	145.3093	38.8992
Dic 16	LC80050532016354LGN02	2016-12-19	14:52:51.3231530 Z	17.75	OLI	144.4980	41.3486
Dic 17	LC80050532016162LGN01	2017-12-24	14:52:18.1865910 Z	27.38	OLI	58.7259	27.4947

Estas imágenes seleccionadas tuvieron mejor resolución óptica que el resto de las demás, probablemente a que correspondieron a la época de sequía de la cuenca del río Chirgua. En cuanto a las características atmosféricas, la presencia de nubes y sombras fueron muy bajas.

4.2 Mapas de uso y cobertura de la tierra:

Se elaboraron 3 mapas de uso y cobertura de la tierra para el periodo (2015-2017) de la cuenca del río Chirgua, bajo la clasificación supervisada. Adicionalmente se utilizó información secundaria, en donde se comparó como referencia imágenes extraídas de Google Earth.

En los mapas se representó un panorama de la distribución espacial de las siguientes categorías: zonas agropecuarias, vegetación primaria (natural), áreas urbanas, suelos degradados, nubes, sombras y no clasificado. Se elaboró en una escala de 1:100.000, donde cada centímetro del mapa equivale a un kilómetro en la realidad.

Usos y cobertura terrestre en el año 2015

En la Figura N° 6 se observa la distribución de las diferentes categorías utilizadas en la clasificación del uso y cobertura de la tierra. Se estimó que la vegetación primaria obtuvo mayor predominancia, abarcando un 40% del área de estudio (ver Tabla anexa N° 6), encontrándose distribuida en el centro y

norte de la cuenca. De segundo lugar, se encontró predominante el área de uso agrícola concentrado hacia la zona sur, con un valor de 22% de área abarcada. Debemos recordar que la cuenca del río Chirgua es por excelencia una zona productora de cítricos y de los cultivos de papa (*Solanum Tuberosum*) y maíz (*Zea maíz*) entre los tubérculos más importantes de la zona (Guerrero, 2009), (INE, 2011).

En la Figura también observa que el área urbana se encuentra distribuida de forma homogénea exceptuando el sur de la cuenca, ocupando un 18% del área; mientras que la presencia de los suelos degradados se encontró distribuido hacia la periferia noroeste de la misma, ocupando un 11% de área.

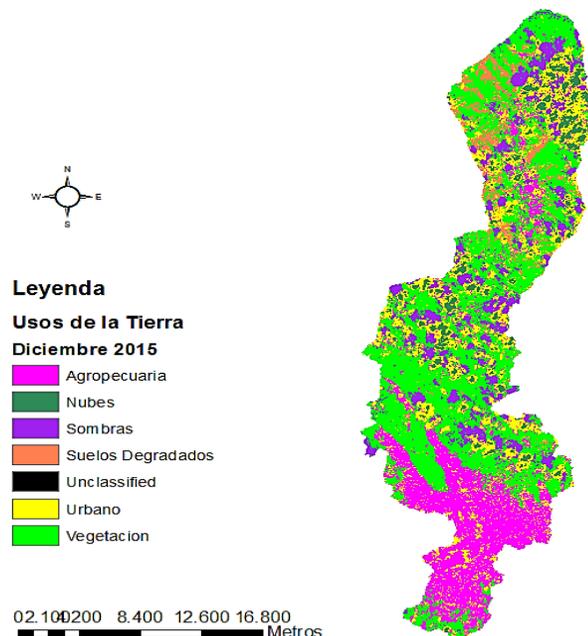


Figura N° 6: Mapa de uso y cobertura de la tierra de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2015).

Usos y cobertura terrestre en el año 2016

En la Figura N° 7 se observa un incremento considerable de las áreas de desarrollo agrícola con un 37% de área abarcada, y un ligero aumento de la cobertura vegetal primaria en comparación al mes de diciembre del año 2015, que paso de abarcar un 40% a un 43% del área de la cuenca; los suelos degradados siguieron ocupando el noroeste de la cuenca, abarcando un 10% del área; mientras que el norte se encontró habitado por pequeños asentamientos urbanos, abarcando un 7% de área de la cuenca.

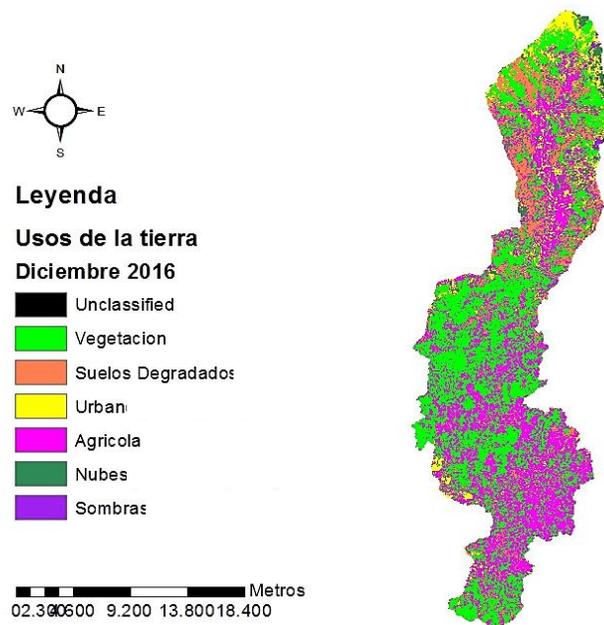


Figura N° 7: Mapa de uso y cobertura de la tierra de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2016).

Usos y cobertura terrestre en el año 2017

En la Figura N° 8 se observar el aumento de asentamientos urbanos fue considerable, abarcando el 48% de área, casi la mitad de la cuenca del río Chirgua. Sin embargo, en comparación al mes de diciembre del año anterior el área agrícola disminuyó notablemente a un 20% de área abarcada. Este cambio de zona agrícola a urbana, puede ser interpretado más bien como el auge de granjas de tipo agro industrial. Mientras que los suelos degradados son prácticamente imperceptibles a la vista (3% de área abarcada), ya que estos posiblemente se encuentren ocupados por asentamientos urbanos y áreas agrícolas. También es importante señalar que la cobertura vegetal disminuyó notablemente, pudiéndose ver está afectada por el crecimiento de granjas y parcelas cultivables; el desarrollo de nuevos asentamientos urbanos; la tala y deforestación de los bosques para fines agrícolas (Avendaño, Galindo y Angulo, 2012), (Álvarez y Agredo, 2012).

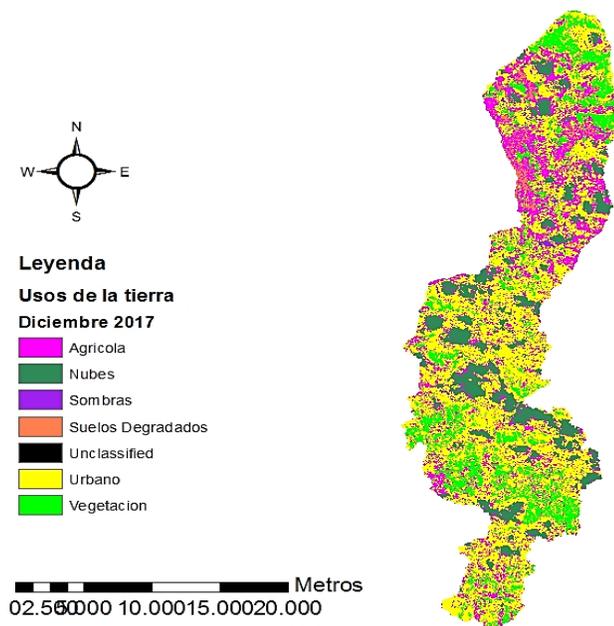


Figura N° 8: Mapa de uso y cobertura de la tierra de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2017).

En referencia a la categoría de nubes y sombras para los 3 mapas, la presencia es muy baja, debido a que el periodo analizado correspondió a los meses de sequía de la cuenca.

En la Tabla N° 6 se puede visualizar las hectáreas abarcadas por año de cada categoría utilizada en la clasificación del uso y cobertura del suelo.

Tabla N° 6: Uso y cobertura de la tierra por área abarcada.

Cobertura/Us	2015		2016		2017	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Agrícola	8.685	22	14.960	37	8.154	20
Nubes	1.837	4	1.146	3	5.072	13
Sombras	1.947	5	219	0,5	340	1
Suelos degradados	4.376	11	3.806	10	1.293	3
Urbano	7.422	18	2.910	7	19.297	48
Vegetación	15.843	40	17.066	43	5.870	15
No clasificado	2.07	0,005	9.63	0,024	0.09	0,0002

Realizando un análisis multitemporal de los mapas de uso y cobertura de la tierra, se observa cómo la cobertura vegetal ha sufrido procesos de cambio por el desarrollo urbano (granjas agroindustriales) en primer lugar, y luego por el desarrollo de nuevas áreas agrícolas (tierras cultivadas) hacia el norte de la cuenca. Estos resultados tienen un efecto directo sobre la respuesta de la cuenca a los fenómenos hidrometeorológicos. A partir de estos resultados se puede asumir que el índice de cobertura vegetal para la cuenca del río Chirgua, según Guevara y Cartaya (1991), es menos de 50% por lo que se consideraría como una cobertura regular (media).

Por estas razones se vislumbra la importancia del estudio del tipo de cobertura vegetal, ya que esta tiene un marcado efecto sobre el proceso de

intercepción, evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración que determinan las condiciones hidrológicas de la cuenca. Los diferentes tipos de vegetación existentes sobre una cuenca, gobiernan el grado de influencia de la cobertura vegetal sobre estos procesos (Guevara et al., 1991).

Por otra parte, la humedad atmosférica al desplazarse sobre la superficie de la cuenca en forma de lluvia o rocío, una porción de esta es retenida sobre la vegetación (árboles, bosques y plantas), y no alcanza llegar a la tierra ya que retornara a la atmósfera por evaporación. Esta intercepción, causada por la presencia de los bosques y vegetación de la cuenca, no es más que la lluvia que queda retenida en la vegetación. Al considerar que el índice de la cobertura vegetal es regular, podemos inferir que las condiciones hidrológicas de la cuenca pueden verse medianamente afectada por el tipo de cobertura vegetal. Chirgua presenta bosques ombrófilos sub-montanos, semidecíduos estacionales; denominados “*bosques alisios*” los cuales presentan de dos a tres estratos arbóreos densos de altura media. Según Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (2007); y la evaporación en los bosques de especies caducifolias por lo general es menor en comparación a otros tipos de bosque, porque existe menos intercepción en el período en que los árboles no tienen follaje.

Por otra parte, el agua que llega a la superficie puede seguir varios caminos; una parte se evapora directamente hacia la atmósfera, otra se infiltra

dentro del perfil del suelo, recargando los acuíferos y ríos (Guevara et al.,1991).

En el caso de la cuenca del río Chirgua, los cambios que se producen en el uso y cobertura de la tierra, ya sea para uso agrícola o el desarrollo urbano, repercuten directamente en el régimen hídrico de la cuenca fluvial. En primer lugar, la deforestación y el desmonte, afectan la tasa de filtración y recarga; ya que disminuye la porosidad del suelo, y esta a su vez aumenta el escurrimiento y el caudal máximo durante las lluvias (Kaimowitz, 2004). En otras palabras, a medida que se desforesta una cuenca aumentan los picos de crecida y baja el caudal de estiaje (caudal mínimo del río, a partir del cual se miden las crecidas) (Guevara et al., 1991).

4.3 Variables asociadas al uso, cobertura y tipo de suelo:

Numero de Curva (CN):

Dependiendo de la clasificación de los suelos, uso de la tierra, tratamiento o práctica y de la condición hidrológica a la cual se le es sometido, se determina el *Número de Curva* a la condición de humedad antecedente, ya que ésta es representativa de la condición del suelo (Guevara et al., 1991).

En la Figura N° 9, se observa según la clasificación hidrológica de los suelos, un nivel con moderadamente bajo potencial de esorrentía para el uso

de la tierra con fines agrícolas, urbanos y suelos degradados; mientras que, para la cobertura vegetal, se obtuvo un nivel con alto potencial de escorrentía.

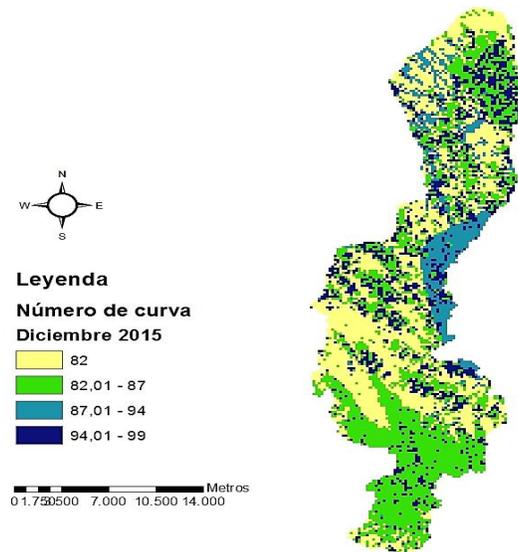


Figura N° 9: Número de curva de escorrentía de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2015).

En la Figura N° 10, se observa según la clasificación hidrológica de los suelos, un nivel con moderadamente bajo potencial de escorrentía para el uso de la tierra con fines agrarios, urbanos y suelos degradados. Para la cobertura vegetal se mantuvo un nivel con alto potencial de escorrentía.

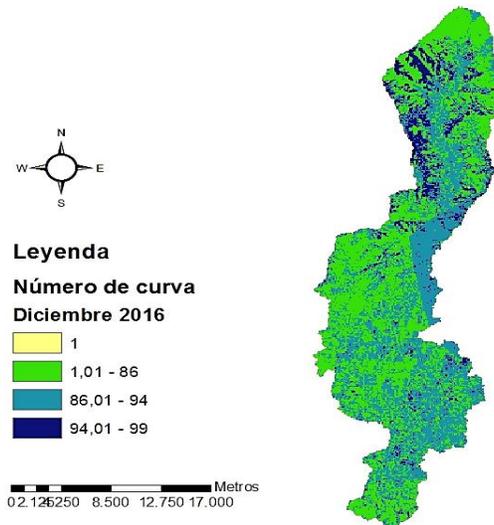


Figura N° 10: Número de curva de escorrentía de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2016).

En la Figura N° 11 se observa para el uso de la tierra agrícola y urbano (granjas agroindustriales) un nivel con moderadamente alto potencial de escorrentía. Mientras que para la cobertura vegetal un nivel con alto potencial de escorrentía.

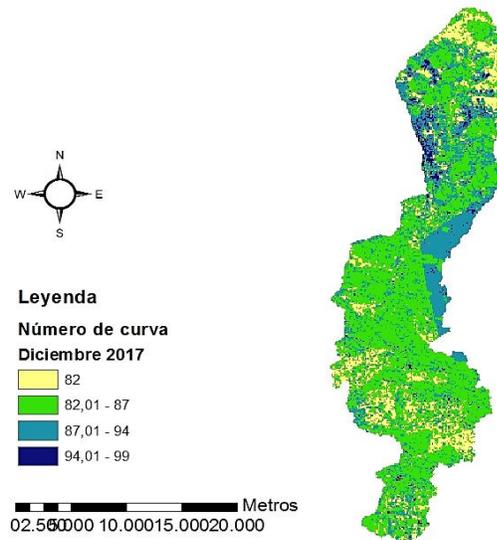


Figura N° 11: Número de curva de escorrentía de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2017).

A través de la condición hidrológica del suelo se logró determinar el número de curva para cada año utilizando; la clasificación de uso y cobertura del suelo, permitió establecer la condición de humedad bajo antecedentes normales, encontrándose para la cobertura vegetal de la cuenca un alto potencial de escorrentía; mientras que para el uso de la tierra con fines agrícola y urbano (granjas agroindustriales) un nivel medio (entre moderadamente bajo- alto) de potencial de escorrentía.

En el caso donde esta presenta la cobertura vegetal, se puede inferir que son suelos con infiltración muy lenta cuando muy húmedos. Consiste en suelos arcillosos con alto potencial de expansión; nivel freático alto permanente; suelos con “claypan” o estrato arcilloso superficial, con infiltración muy lenta debido a sales o álcali y poco profundo sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta (Guevara et al., 1991).

Por otra parte, en las áreas de la cuenca donde existe el uso con fines agrícolas y urbanos, se puede deducir que son suelos con tasas de infiltración moderadas a lenta cuando muy húmedos, son drenados, con texturas finas a moderadamente gruesas. Pueden existir estratos de permeabilidad lenta a poca profundidad (Guevara et al., 1991).

Precipitación (P):

Debido a las dificultades para determinar las condiciones iniciales producidas por las lluvias (precipitación inicial), se utilizó al igual que para calcular el número de curva, valores referenciales según el método del US Soil Conservation Service (SCS).

En la Figura N° 12 se observa una precipitación laminar (mm) desde un rango mínimo con un promedio de 24,22mm para el norte de la cuenca; para el centro de la cuenca una precipitación promedio laminar de 33,54mm, y una precipitación máxima promedio laminar de 37,40 mm.

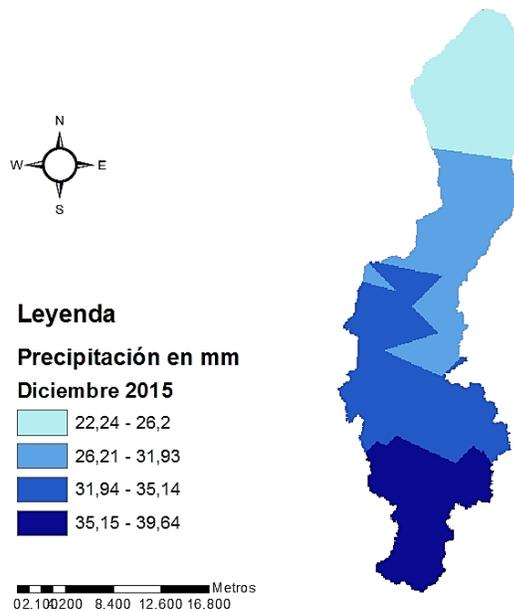


Figura N° 12: Precipitación de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2015).

En la Figura N° 13 se observa una precipitación laminar (mm) mínima promedio de 25,65mm; una precipitación laminar media con un promedio de 32,09mm; y una precipitación máxima laminar con un promedio de 35,87mm.

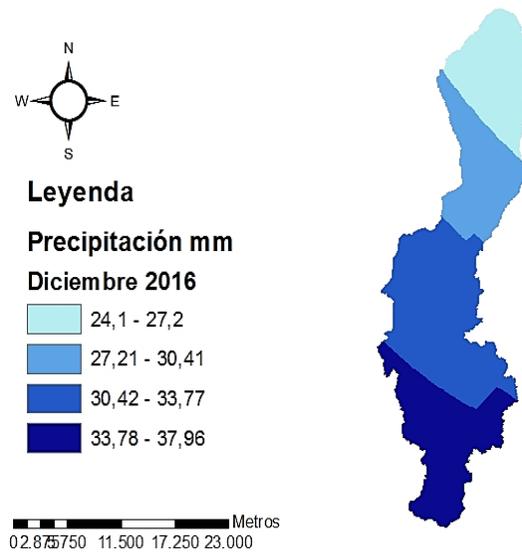


Figura N° 13: Precipitación de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2016).

En la Figura N° 14 se observa una precipitación laminar (mm) mínima promedio de 16,36mm; una precipitación laminar media con un promedio de 20,1mm; y una precipitación máxima laminar con un promedio de 21,40mm.

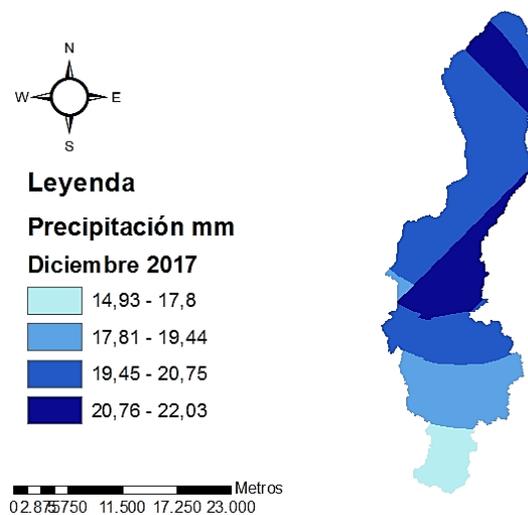


Figura N° 14: Precipitación de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2017).

La precipitación es uno de los procesos meteorológicos más importantes para la Hidrología, y junto a la evaporación constituyen la forma mediante la cual la atmósfera interactúa con el agua superficial en el ciclo hidrológico del agua. A través de estos resultados podemos determinar la variación de la escorrentía en función de la precipitación. En los tres casos se determinó que según las condiciones iniciales (volumen de precipitación), es de tipo II según (SCS). Esta condición determina que los suelos se secan sin llegar al punto de perder la cohesión, al momento de cultivar en buenas condiciones; por lo que se denomina suelo tipo normal.

Se debe tomar en cuenta que la precipitación medida pertenece a la época de sequía (mes de diciembre). A pesar de que la magnitud de la

precipitación es baja a media, esta es típica de la época seca, en donde aún existe humedad en el suelo, pero no saturación a la capacidad de campo.

Según Guevara et al., (1991), los valores típicos del contenido de humedad para los tipos de suelo son: tierra- limosa 22%, tierra- arcillosa 24%, arcilla 36% y materia orgánica 140%.

Estos promedios nos permiten anticipar el contenido de humedad para la cuenca del Rio Chirgua, en donde el tipo de suelo para la cobertura vegetal fue arcillosa y rica en materia orgánica; para las áreas agrícolas y urbanas, fue tierra- arcillosa.

Almacenamiento de agua en suelo (S):

Numéricamente el valor máximo de (S) es igual a la capacidad útil de almacenamiento del suelo. En la práctica puede ser estimado mediante el análisis de hidrogramas. El (SCS) propone el cálculo de (S) en base al valor de (CN); este fue calculado en los objetivos previos.

En la Figura N° 15 se observa para la tierra de uso agrícola un promedio de 39,80mm; para uso urbano un promedio de 16,96mm; para suelos degradados 2,57mm; y para la cobertura vegetal 52,01mm.

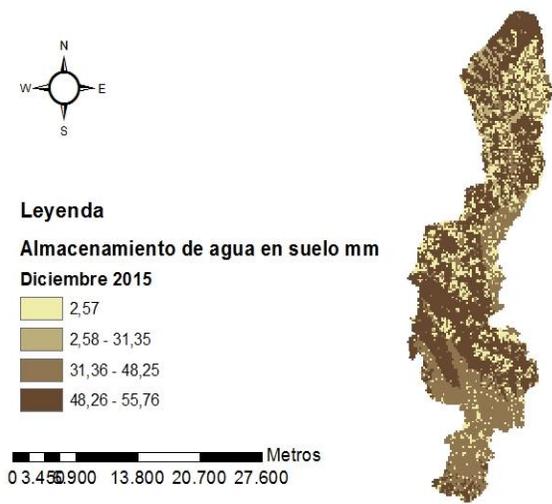


Figura N° 15: Almacenamiento de agua en suelo de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2015).

En la Figura N° 16 se observa para la tierra de uso agrícola un promedio de 39,80mm; para uso urbano un valor de 2,57mm; para suelos degradados 2,57mm; y para la cobertura vegetal 52,01mm.

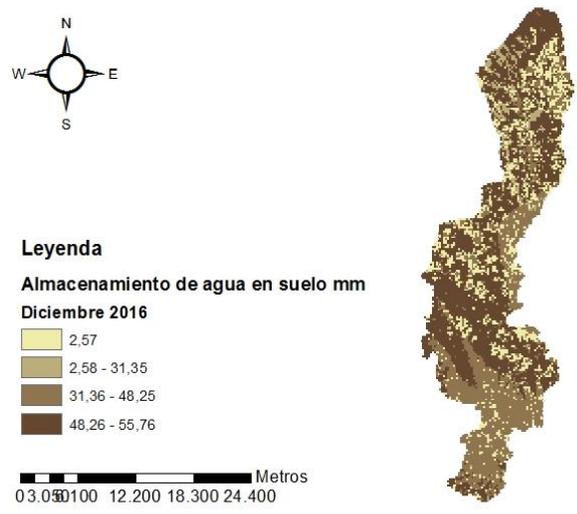


Figura N° 16: Almacenamiento de agua en suelo de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2016).

En la Figura N° 17 se observa un rango entre 31,36- 48,25mm para el suelo de uso agrícola; un rango entre 48,26- 55,76mm para la cobertura vegetal; un rango entre 2,58- 31,35mm para uso urbano, y por ultimo un valor de 2,57mm para suelos degradados.

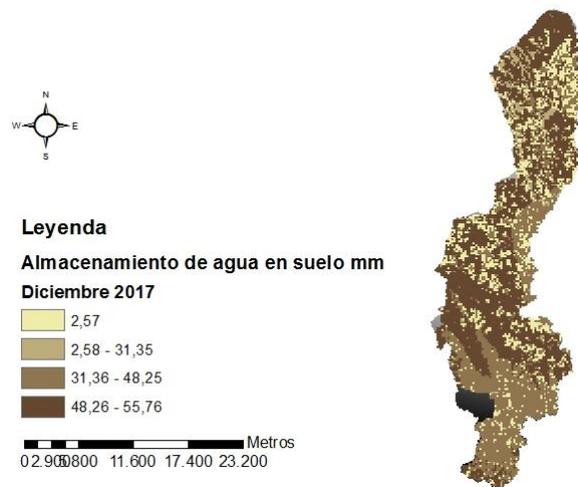


Figura N° 17: Almacenamiento de agua en suelo de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2017).

La máxima cantidad disponible de agua que el suelo puede retener variará según la textura, el contenido de materia orgánica, la profundidad de enraizamiento, la estructura del suelo y los usos a que son confinados (FAO, 2015). Según los resultados obtenidos, los suelos que presentan cobertura vegetal (natural), fueron los que mayor cantidad de agua retuvieron, con un valor máximo de 55,76mm y un mínimo de 48,26mm. Estos valores son representativos de suelos ricos en materia orgánica, ya que tienen la capacidad de retener grandes cantidades de agua, casi 20 veces su peso en

agua. Es importante señalar que, después de que se satisface la captación de intercepción por parte de las plantas, el resto del agua escurre por los troncos hacia la superficie del suelo. Una parte de esta agua al infiltrarse en el perfil del suelo, la velocidad con la que viaja dependerá de las condiciones del suelo y, del tipo y extensión de la cobertura vegetal del ecosistema. La cuenca del río Chirgua presento valores típicos del contenido de humedad según las condiciones en que fueron evaluados en el objetivo anterior.

Por otra parte, los resultados obtenidos de la cantidad de almacenamiento de agua en suelos con fines agrícolas, tuvieron un promedio de 39,80mm en época de sequía. Estos resultados son propios del comportamiento del suelo con fines agrícolas; a pesar de que las prácticas agrarias de la cuenca aún en la actualidad son muy rurales; estas se vienen desarrollando desde el año 1.950 hasta el presente año. Mediante la aplicación de prácticas agrícolas sostenibles, los agricultores pueden influir en la estructura y el contenido de materia orgánica del suelo para mejorar la infiltración y retención de agua.

Para el uso de la tierra con fines urbanos el valor promedio fue 2,57mm, estos valores son referentes a cambios ocasionados por parte de la ocupación territorial y sellado del suelo. Por último, podemos observar que el valor promedio para los suelos degradados fue 2,57mm. Estos resultados son

efectos directos de la erosión, deforestación, labranza excesiva y uso de agua para el riego de los cultivos de manera indiscriminada.

Haciendo hincapié en el papel fundamental del agua en las prácticas agrícolas, la mejora de la gestión de la humedad del suelo es fundamental para la producción agrícola y el suministro de agua sostenibles. La disminución de la capacidad del suelo de aceptar, retener, liberar y trasladar agua reduce su productividad, ya se trate de cultivos, especies de pastos, arbustos o árboles.

4.4 Producción hídrica (escorrentía) de la cuenca del río Chirgua:

Esta se obtuvo a través de la porción de lluvia que eventualmente llega a los cauces de los ríos (Guevara et al., 1991). Mediante la ecuación planteada por (SCS), se estimaron los valores para la precipitación efectiva, utilizaron los resultados de (P) y (S) calculados en los objetivos previos.

En la Figura N° 18 se observa para la cobertura vegetal el rango mínimo, con valores entre 1,84- 7,44mm; para el uso de la tierra con fines agrícolas, se encontraron precipitaciones dentro del rango de 7,45- 15,09mm; para suelos degradados valores dentro del rango 7,45- 15,09mm; y para el uso de áreas urbanas valores dentro del rango 22,2- 36,66mm.

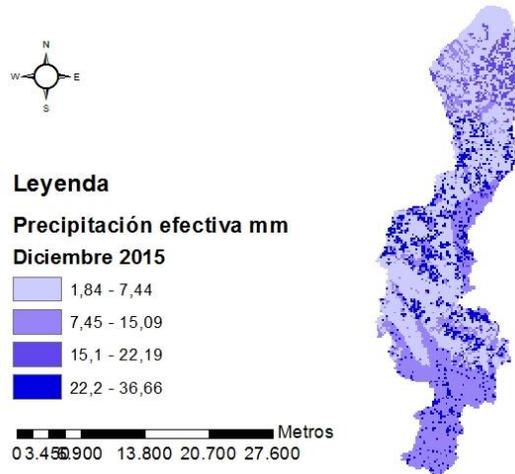


Figura N° 18: Precipitación efectiva de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2015).

En la Figura N° 19 se observa se observa para la cobertura vegetal valores entre el rango 2,45- 7,42mm; para el uso de la tierra con fines agrícolas, se encontraron valores dentro del rango de 7,43- 16,72mm; para suelos degradados valores dentro del rango 7,43- 16,72mm; y para el uso de áreas urbanas valores dentro del rango 26,79- 34,93mm.

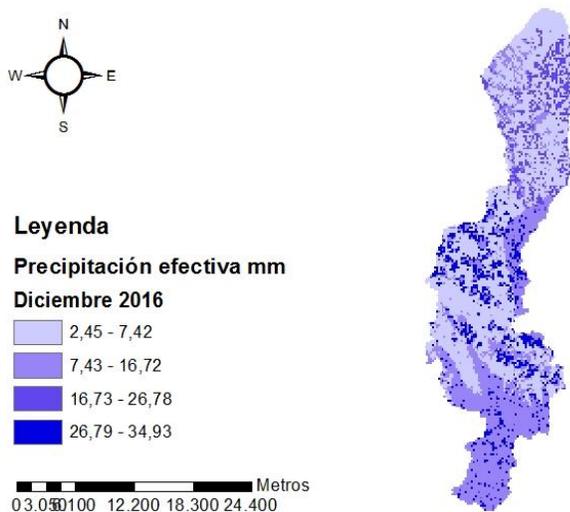


Figura N° 19: Precipitación efectiva de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2016).

En la Figura N° 20 se observa para la cobertura vegetal valores entre el rango 0,25- 2,33mm; para el uso de la tierra con fines agrícolas, se encontraron valores dentro del rango de 4,35- 9,99mm; para suelos degradados valores dentro del rango 2,34- 4,34mm; y para el uso de áreas urbanas valores dentro del rango 16,46- 19,2mm.

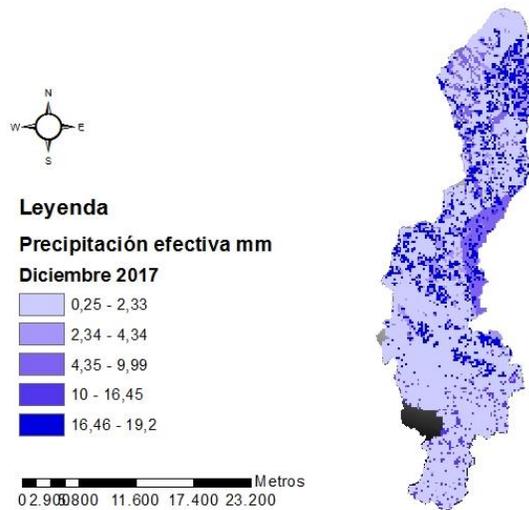


Figura N° 20: Precipitación efectiva de la cuenca del río Chirgua, Estado Carabobo- Venezuela, periodo (Diciembre, 2017).

Podemos observar de manera general que las áreas donde predomina la cobertura vegetal, se obtuvo el menor índice de precipitación efectiva, con un registro del rango mínimo de 0,25 mm y un máximo de 7,44mm; para el uso de la tierra con fines agrícolas un rango mínimo de 4,35mm y un máximo de 16,72mm; para suelos degradados un rango mínimo de 2,34mm y un máximo de 16,72mm y por ultimo para áreas de uso urbano un rango mínimo de 16,46mm y un máximo de 36,66mm. Estos resultados nos confirman los

resultados obtenidos en los objetivos previos son cónsonos a la clasificación implementada por (SCS).

La mayor cantidad de precipitación efectiva es retenida en suelos sellados y de ocupación territorial; lo que sugiere el desarrollo y edificación de zonas urbanas, probablemente granjas con fines agroindustriales (cría de animales), según el uso de la tierra esta ocupa un 24% de territorio, el equivalente a 9.876 hectáreas. Mientras que el uso de la tierra con fines agrícolas se posiciona de segundo lugar, este uso ocupa un 26% de territorio equivalente a 10.600 hectáreas aproximadamente.

En cuanto a los suelos degradados, sugiere que estos han perdido su capacidad de retener nutrientes y con déficit hídrico, ya que han perdido la capa superficial del suelo. Esto es indicativo de malas prácticas agrícolas. Estos ocupan un 8% de territorio, equivalente a 3.158 hectáreas.

Por último, la cobertura vegetal retuvo menos cantidad de lluvia efectiva, esto se debe a que la mayor cantidad de precipitación es interceptada por las plantas; esta ocupa un 33% de área de la cuenca, el cual representa 12.926 hectáreas aproximadamente.

La cuenca del río Chirgua se encuentra ubicada a una altitud de 487 m.s.n.m.; presenta un relieve principalmente accidentado, con pendientes de entre 20 y 25%; y este se enmarca en la provincia fisiográfica de la cordillera

de la Costa; esto hace que la cuenca sea un lugar propicio para el desarrollo de vegetación propia de bosques montanos y premontanos, inclusive a partir de los 400 m.s.n.m se puede encontrar bosques nublados, que se caracterizan por ser muy variables en su fisionomía y composición florística (Llamozas et al., 2003; Provita, 2015). Esta región posee ecosistemas caracterizados por su alta diversidad de especies de plantas superiores que se estima alcanza entre 3.000 a 3.500 (Huber et al., 1998).

En los últimos años, en las zonas premontanas y bajas, los bosques deciduos y semideciduos han sufrido una rápida conversión a tierras agrícolas y pastos, debido a que en su mayoría se encuentran fuera del sistema de áreas protegidas estrictas. Existe la urgente necesidad de implementar planes de manejo sustentable en estas regiones con el fin de disminuir la deforestación. Esto serviría no sólo para proteger a los bosques deciduos, sino para evitar el desplazamiento de poblaciones rurales a las zonas de bosques siempreverdes bajo áreas protegidas. Se debe enfatizar la necesidad de mejorar las medidas de protección y manejo de los bosques de la cordillera de la Costa, tanto para evitar la erosión y sedimentación de embalses de agua asociados a las comunidades humanas de la región, como para mitigar el proceso de desertificación y el deterioro de los suelos en las zonas bajas y planicies donde se genera gran parte de la productividad agrícola del país (Provita, 2015).

CONCLUSIONES

- ✓ A través del portal del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), se logró descargar con éxito y de forma gratuita imágenes provenientes del Satélite Landsat 8 (OLI), un total de 36 imágenes. Por medio de las correcciones aplicadas se eligieron solo 3 pertenecientes al mes de diciembre (época de sequía) dado que fueron las que mejor resolución óptica tuvieron y ajustaron a las necesidades de la investigación.
- ✓ En la clasificación de usos y cobertura de la tierra de la cuenca del río Chirgua, se encontró en mayor proporción por área ocupada, la cobertura vegetal; seguido de áreas de uso agrícola; área urbana y en menor proporción suelos degradados. Por otra parte, el índice de cobertura vegetal se clasificó según US soil conservation service (SCS) como tipo regular, el cual gobierna medianamente el grado de influencia la producción hídrica de la cuenca.
- ✓ En cuanto a las variables asociadas al uso y cobertura de la tierra, a través del método (SCS) se estimó el número de curva (CN); precipitación (P) y almacenamiento de agua en suelo (S). Para (CN) se consiguió para la cobertura vegetal un alto potencial de escorrentía; mientras que para el uso de la tierra con fines agrícola y urbano (granjas

agroindustriales) un nivel medio (entre moderadamente bajo- alto) de potencial de escorrentía. Se puede inferir que son suelos con infiltración muy lenta cuando muy húmedos en áreas con una densa cobertura vegetal, mientras que, en áreas de ocupación antrópica, la tasa de infiltración es moderada a lenta cuando muy húmedos. Por otra parte, la magnitud de (P) es baja a media, típica de la época seca, en donde aún existe humedad en el suelo, pero no saturación a la capacidad de campo. Por último (S) se determinó para la cobertura vegetal, un suelo tipo arcilla y rico en materia orgánica; mientras que, para los suelos de uso agrícola y urbano, se encontró tierra- arcillosa.

- ✓ La mayor cantidad de precipitación efectiva es retenida en suelos sellados y de ocupación territorial; mientras que para el uso de la tierra con fines agrícolas se posiciono de segundo lugar, y por ultimo suelos con cobertura vegetal primaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ✓ Arias, F. (2006). El proyecto de Investigación. (4ta Ed.), Caracas: Editorial Episteme.
- ✓ Alvis, N. y Valenzuela, M. (2010). Los QALYs y DALYs como indicadores sintéticos de salud. En Revista médica de Chile, 138 (Supl. 2), 83-87pp.
- ✓ Almeida, J., Rodríguez, M., García, E., Madriz, P., Figueroa, R. y Mantilla, J. (2013). Comparación de la biomasa de dos cultivares de papa (*Solanum tuberosum*) de distintos orígenes, plantados en Chirgua, estado Carabobo, Venezuela.
- ✓ Álzate, G. y Sánchez, D. (2018). Análisis multitemporal por teledetección del cambio de coberturas en las veredas Pantanillo y Las Palmas del municipio de Envigado en el periodo comprendido entre los años 1997 y 2016. Universidad Católica de Manizales Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- ✓ Alonso. (2006). Principios de teledetección. Universidad de Murcia. Disponible:<https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node69.html>
- ✓ Álvarez, J. y Agredo, G. (2012). Perdida de la cobertura vegetal y de oxígeno en la media montaña del trópico Andino, caso cuenca urbana

San Luis (Manizales). Revista luna azul. 2013; 37: 30-48. Universidad de Caldas. Colombia.

- ✓ Agrotecnología tropical. (2013). Disponible en: <http://www.agrotecnologia-tropical.com/>. Última visita: junio 2019.
- ✓ Anderson, J., Hardy, E., Roach, J., y Witmer, R. (1976). A land use and land cover classifications system for use with remote sensor. Geological Survey United State, Washington.
- ✓ Attenborough, D. (1993). El planeta viviente. Los ecosistemas de la Tierra. Editorial Biblioteca Científica Salvat.
- ✓ Avendaño, R., Galindo, A. y Angulo, A. (2012). Ecología y educación ambiental. Universidad Autónoma de Sinaloa. Dirección General de Escuelas Preparatorias. Academia Estatal de Biología. México.
- ✓ Belisario (2013). Disponible en: <http://comunicacioncontinua.com/el-desarrollo-agrario-en-venezuela-y-sus-cultivos-mas-importantes/>. Última visita: junio 2017.
- ✓ Bernal, S. y Padro, C. (2015). Análisis de la influencia de la cobertura vegetal en la generación de caudales de la cuenca de la quebrada Granadillo en los años 1993 y 2009 a partir de aerofotografías y cartografía del instituto geográfico Agustín Codazzi. Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería. Bogotá- Colombia.
- ✓ Broge, N. y Mortensen, J. (2001). Deriving green crop area index and canopy chlorophyll density of winter wheat from spectral reflectance

data. Department of Agricultural Systems, Danish Institute of Agricultural Sciences, Research Centre Foulum.

- ✓ Bruijnzeel, L. (1990). Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review. Programa para el Trópico Húmedo del Programa Hidrológico Internacional. París, UNESCO.
- ✓ Bosch, J. y Hewlett, J. (1982). A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 55: 3-23.
- ✓ Bossard, M., Feranec, J. y Otahel, J. (2000). Corine land cover, technical guide -Adendum 2000. EEA, Copenhagen.
- ✓ Calder, I. (1999). The blue revolution, land use and integrated water resources management. Londres- UK.
- ✓ Celleri, R. De Bievre, B. y Iñiguez, V. (2017). Efectos de la cobertura vegetal en la regulación hidrológica de microcuencas de paramo. Universidad de Cuenca, Cuenca- Ecuador.
- ✓ Conarsa, A. (1997). Política y Plan Nacional de Riego y Saneamiento de tierras. Consejo Nacional de Riego y Saneamiento de Tierras. República Bolivariana de Venezuela.
- ✓ COPLANARH/MOP. (1970). Recursos de las aguas subterráneas en Venezuela. Comisión de Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hídricos/Ministerio de Obras Públicas.

- ✓ Curtis, H. (2000). Principios de Biología. Editorial Panamericana 2788 p.
- ✓ Chuvieco, E. (2000). Fundamentos de Teledetección espacial, RIALP, 568 p.
- ✓ Chuvieco, E. (2002). Teledetección Ambiental, Ariel. 578 p.
- ✓ De la Casa A., G. Ovando, L. Bressanini. (2007). Uso del índice de área foliar y del porcentaje de cobertura del suelo para estimar la radiación interceptada en papa. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- ✓ Di Gregorio, A. y Jansen, L. (2000). Land cover classifications system (LCCS): classification concepts and user manual for software versión 1.0. Rome: FAO. 179 pp.
- ✓ FAO. (1995). Guidelines for Soil Profile Description. Third edition (revised). Soil Resources, Management and Conservation Service, Land and Water Development Division, FAO, Rome.
- ✓ FAO. (2007). La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas. División de Comunicación de la FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia. 154 p.
- ✓ FAO. (2015). Construyendo una visión común para la agricultura y alimentación sostenibles. FAO, Roma.
- ✓ FAO. (2015). Las compras públicas a la agricultura familiar y la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe: lecciones aprendidas y experiencias. Santiago de Chile.

- ✓ FAO. (2016). América Latina y El Caribe, Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional. 158 p.
- ✓ FAO. (2016). Retos y perspectivas para la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe: de los Objetivos de Desarrollo del Milenio a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- ✓ FAO. (2016). Cambio Climático y Seguridad Alimentaria y Nutricional América Latina y el Caribe (Orientaciones de Políticas). Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/docs/Cambioclimatico.pdf
- ✓ FAO. (2016). Boletín de la seguridad alimentaria y nutricional de América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
- ✓ Galeana, J., Corona, N. y Ordóñez, J. (2009). Análisis dimensional de la cobertura vegetal–uso de suelo en la Cuenca del Río Magdalena. Rev. Cien. For. Mex vol.34 no.105 México.
- ✓ García, M., Amarilla, S., Rodas, O. y Echeverría, C. (2017). Análisis multitemporal del cambio de uso de la tierra en el departamento del Alto Paraguay, Paraguay. Investigación Agraria 19(2): 93-100.
- ✓ Garrido, A., Pérez, D. y Enríquez, C. (2010). Delimitación de zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México. En: Cotler H. (Coord.) Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. México: Instituto Nacional de Ecología/Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P. Disponible en: www.inecc.gob.mx/publicaciones/consultapublicacion.html.

- ✓ Gulmo. (2013). Disponible en: <http://comunicacioncontinua.com/el-desarrollo-agrario-en-venezuela-y-sus-cultivos-mas-importantes/#>.
Ultima vista: junio 2017.
- ✓ Guido, H., Allan, C. y Polanco, I. (2016). Evaluación de la cobertura vegetal en las áreas de recarga hídricas priorizadas en los municipios de Juigalpa, Chontales y San Ramón, Matagalpa, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. Nicaragua.
- ✓ Guevara, E. y Cartaya, D. (1991). Una introducción a la ciencia hidrológica aplicada. Editorial Universidad de Carabobo. Venezuela.
- ✓ Guerrero, J. (2009). Elaboración de un modelo matemático de infiltración basado en las propiedades físicas del suelo. Cuenca del río Chirgua- Municipio Bejuma Estado Carabobo. Universidad de Carabobo, Venezuela.
- ✓ Hernández, R.; C. Collado & P. Baptista. (2006): Metodología de la Investigación. McGraw Hill. México.
- ✓ HLPE. (2012). La seguridad alimentaria y el cambio climático. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial. Roma.
- ✓ HLPE. (2014). Las pérdidas y el desperdicio de alimentos en el contexto de sistemas alimentarios sostenibles. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial. Roma.

- ✓ Huber, U., Bugmann, H. y Reasoner, M. (2005). Global change and mountain regions: an overview of current knowledge. *Advances in Global Change Research*, Vol. 23. Países Bajos, Springer-Verlag.
- ✓ IDEAM. (2008). Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de la Magdalena. Bogotá, D.C., 200 pp.
- ✓ Instituto Nacional de Estadística. (2011). Informe Geoambiental Estado Carabobo. República Bolivariana de Venezuela. 172 p.
- ✓ Kaimowitz, D. (2004). Useful myths and intractable truths: the politics of the link between forests and water in Central America. In M. Bonell y L.A. Bruijnzeel, eds. *Forests, wáter and people in the humid tropics: past, present and future hydrological research for integrated land and water management*. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- ✓ Llamozas, S., Duno de Stefano, R., Meier, W., Riina, R., Stauffer, F., Aymard, G., Huber, O. y Ortiz, R. (2003). Libro Rojo de la Flora Venezolana. Provita:, Fundación Polar, Fundación Instituto Botánica de Venezuela Dr. Tobias Lasser. Caracas, Venezuela. 555 pp.

- ✓ Mather, P.M. (1999). Computer Processing of Remotely-Sensed Images. An Introduction, Wiley, . 292 p.
- ✓ Márquez, A., Guevara, E. y Rey Lago, D. (2019). Modeling of physico-chemical and biological parameters of Pao Cachinche Water Reservoir, Venezuela, using the Surface Reflectance from Landsat Satellite Images. Journal of Remote Sensing GIS & Technology Volume 5 Issue 1.
- ✓ Mena, C., Ormazabal, Y., Morales, Y. Santelices, R. y Gajardo, J. (2011). Índice de área verde y cobertura vegetal para la Ciudad de Parral (Chile), mediante fotointerpretación y SIG. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 521-531, jul.-set., 2011.
- ✓ Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas, Nueva York.
- ✓ Naciones Unidas. (2015). Informe del Grupo Interinstitucional y de Expertos sobre los Indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas, Nueva York.
- ✓ Naciones Unidas. (2015). Desarrollo agrícola, seguridad alimentaria y nutrición. Informe del Secretario General. Naciones Unidas, Nueva York.
- ✓ Ochoa, C. y Iñiguez, A. (2015). El papel de la cobertura vegetal en la generación de sedimentos y calidad de agua de los Andes Ecuatorianos. Departamento de Ciencias Agropecuarias y

Alimentos/Departamento de Ciencias Naturales, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.

- ✓ Pacheco, C., Osorio, R., Méndez, A., Flores, E. y López, J. (2006). Determinación del uso de la tierra bajo un enfoque de cobertura con imagen ETM de Landsat. Cuenca alta del río Grita estado Táchira Venezuela. Rev. For. Lat.(40): 85-106.
- ✓ Paiva, J. y Paiva, E. (2001). Hidrologia aplicada á gestão de pequenas bacias. hidrográficas. Porto Alegre: ABRH, 625 pp.
- ✓ Rodríguez, J., Rojas, F. y Hernández, D. (2015). Libro rojo de los ecosistemas terrestres de Venezuela. Provita, Compañías Shell en Venezuela y Lenovo Venezuela. Venezuela.
- ✓ Sperling, M. (2007). Estudos e modelagem da qualidade da agua de rios: principios do tratamento biologico de aguas residuarias. 1.ed. Belo Horizonte: UFMG, 196 pp.
- ✓ Sevilla V., Comerma, J. y Silva, O. (2009). Caracterización de la Cuenca del Rio Chirgua en el Estado Carabobo. I. Análisis climático y de producción de agua. Universidad Central de Venezuela.
- ✓ Tengil, H., Franco, S., Nava, G., y Ordoñez, J. (2015). Evaluación de las técnicas para el estudio del cambio de ocupación del suelo y propuesta metodológica para solventar algunas de sus inconsistencias: el parque nacional Nevado de Toluca, México. Geofocus 16, 61-86.

- ✓ Tucci, C. (2004). Hidrologia: ciencia e aplicacao. 3.ed. Porto Alegre: ABRH, 943p.
- ✓ Tucci, C., Porto, R. y Barros, M. (1995). Drenagem urbana. Porto Alegre, ABRH.
- ✓ Universidad de Valladolid. (1999). Disponible en: <http://Estudio de la vegetación y Teledetección.html>. Última visita: junio 2017.
- ✓ Villela, S. y Mattos, A. (1975). Hidrología Aplicada. São Paulo, McGraw-Hill, 245pp.
- ✓ Warnock, R., Valenzuela, J., Trujillo, A., Madriz, P. y Gutiérrez, M. (2006). Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de Caraota. Universidad Central de Venezuela.