



**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Posgrados**

**Herramientas SIG en el análisis de zonas en riesgo de desertificación.**

**Caso de estudio: Zonas aledañas al Desierto de la Tatacoa - Municipio de  
Alpujarra Tolima**

**Rubén Darío Imbol**

**Richard Resl, Ph.Dc., Director de Tesis**

Tesis de grado presentada como requisito  
para la obtención del título de Magíster en Sistemas de Información Geográfica

Quito, abril de 2014

**Universidad San Francisco de Quito**

**Colegio de Posgrados**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS**

**Herramientas SIG en el análisis de zonas en riesgo de  
desertificación**

**Caso de estudio: Zonas aledañas al Desierto de la Tatacoa -  
Municipio de Alpujarra Tolima**

**Rubén Darío Imbol**

Richard Resl, Ph.D. ....  
**Director de Tesis**

Karl Atzmanstorfer, Ms. ....  
**Miembro del Comité de Tesis**

Richard Resl, Ph.D. ....  
**Director de la Maestría en Sistemas  
de Información Geográfica**

Stella de la Torre, Ph.D. ....  
**Decana del Colegio de Ciencias  
Biológicas y Ambientales**

Víctor Viteri Breedy, Ph.D. ....  
**Decano del Colegio de Posgrados**

Quito, abril de 2014

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

-----  
RUBEN DARIO IMBOL

Pasaporte: 80150008

Quito, abril de 2014

## DEDICATORIA

*A mí esposa*

## **AGRADECIMIENTOS**

Brindo mis más profundos agradecimientos a Dios, a mi familia y en especial a mi esposa quien con su continuo apoyo, ha sido el pilar en la construcción de mis metas, quien ha aumentado su paciencia para ceder el tiempo de familia que me ha costado construir mis logros académicos y profesionales.

## RESUMEN DEL PROYECTO

“La información espacial se ha convertido en el principal generador de riquezas en el mundo y también en el insumo básico para la definición de políticas a todos los niveles”.<sup>1</sup> Bajo esta premisa se ha construido el presente proyecto, en el cual el aporte de los sistemas de información geográfica debe llegar a las administraciones municipales, siendo estas las bases de nuestra organización sociopolítica.

Inicialmente se evaluó las políticas, protocolos y métodos implementados en la lucha contra la desertificación con el fin de evaluar la información del municipio de Alpujarra (Tolima). Para este caso de estudio, el objetivo fue de determinar su riesgo de desertificación, debido a la amenaza que representa la expansión de la zona desértica de la Tatacoa.

Se establecieron, según las metodologías utilizadas en trabajos anteriores, las variables mínimas de trabajo. Estas fueron obtenidas de la información del municipio de manera que brinden un mayor nivel de detalle sobre el estado de este.

Posteriormente se aplicaron los procesos de acuerdo al protocolo de evaluación de degradación de los suelos por desertificación, ajustándolo acorde a la información existente. Finalmente se obtuvo la zonificación del nivel de riesgo al proceso de desertificación en el municipio.

---

<sup>1</sup> MARTÍNEZ, Yovanny. (2000). Artículo Los sistemas de información geográfica. Bogotá D.C.: Divulgación académica Universidad Distrital.

## ABSTRACT

"Spatial information turned into the main source of wealth in the world, as well as the basic input for policies definitions at all levels." This project was built under this premise, in which geographic information systems contribution must reach local governments, as they are the basis of our socio-political organizations.

First policies, protocols and methods implemented against the desertification were evaluated, in order to evaluate Alpujarra's municipality (Tolima) information. For this case study the objective was to determine its desertification risk, under the threat of Tatacoa's desert zone expansion.

According to methodologies previously used, minimal work variables were defined. These were obtained from municipality's information, in order to give a higher level of detail about its condition.

Subsequently, processes were applied according to the protocol of evaluation of soil degradation due to desertification, adjusting it according to the existing information. Finally we obtained a zoning of the municipality for the level of risk by desertification process.

## SIGLAS

CAM: Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena

CORPOGUAJIRA: Corporación Autónoma Regional de la Guajira

CORTOLIMA: Corporación Autónoma Regional del Tolima

CORPOICA: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

EOT: Esquema de Ordenamiento Territorial

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

LADA: Evaluación de la Degradación de Tierras en Zonas Áridas (Land Degradation Assessment in Drylands)

MAVDT: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS)

POT: Plan de Ordenamiento Territorial

PAN: Plan de Acción Nacional de Lucha Contra La Desertificación y la Sequía en Colombia.

PAT: Plan de Acción Trienal

SIG: Sistema de Información Geográfica

UNCCD: Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la Desertificación y la Sequía.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	7
<b>ABSTRACT</b> .....	8
<b>SIGLAS</b> .....	9
<b>TABLA DE CONTENIDO</b> .....	10
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	13
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	14
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	15
<b>1.1. ANTECEDENTES</b> .....	15
<b>1.2. OBJETIVOS</b> .....	17
1.2.1. Objetivo general .....	17
1.2.2. Objetivos específicos .....	17
1.2.3. Preguntas de investigación .....	17
<b>1.3. HIPÓTESIS</b> .....	18
<b>1.4. JUSTIFICACIÓN</b> .....	18
<b>1.5. ALCANCE</b> .....	19
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	21
<b>2.1. IMPORTANCIA DEL SUELO</b> .....	21
<b>2.2. PROCESOS DE DEGRADACION DE LOS SUELOS</b> .....	22
2.2.1. La degradación física .....	25
2.2.1.1. La compactación.....	25
2.2.1.2. La erosión .....	26
2.2.2. La degradación química .....	26
2.2.2.1. Pérdida de Nutrientes .....	26
2.2.2.2. Salinización.....	27
2.2.2.3. Acidificación.....	27
2.2.2.4. Contaminación.....	27
2.2.2.5. Desequilibrio Geoquímico .....	28
2.2.3. La degradación biológica .....	28
2.2.3.1. Reducción de Micro y Macro – Fauna.....	28
2.2.3.2. Pérdida de la Materia Orgánica.....	28

2.2.3.3.	Reducción de la Biomasa del suelo .....	29
2.2.4.	La desertificación .....	29
2.3.	<b>CONTEXTO INTERNACIONAL EN LA LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN DEL SUELO</b> .....	30
2.4.	<b>CONTEXTO NACIONAL EN LA LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN DEL SUELO</b> .....	31
2.5.	<b>HERRAMIENTAS SIG EN LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS EN DESERTIFICACIÓN</b> .....	33
3.	<b>METODOLOGÍA</b> .....	35
3.1.	<b>Localización del área de estudio</b> .....	35
3.2.	<b>Proceso Metodológico</b> .....	37
3.2.1.	Fase 1: Conceptualización básica y definición de área de estudio ...	38
3.2.1.1.	Revisión de información Nacional, Regional y Local sobre desertificación. ....	38
3.2.1.2.	Revisión de resultados en la identificación de la desertificación.....	39
3.2.1.3.	Definición del área de estudio. ....	40
3.2.2.	Fase 2: Identificación y selección de variables de trabajo.....	43
3.2.2.1.	Identificación de variables esenciales en la tipificación de zonas desertificadas .....	43
3.2.2.2.	Recopilación de información local (Zona de estudio) .....	44
3.2.2.3.	Selección de variables de trabajo .....	44
3.2.3.	Fase 3: Análisis de información e implementación de procesos.....	45
3.2.3.1.	Análisis de información existente y requerida.....	45
3.2.3.2.	Recopilación de información de apoyo .....	47
3.2.3.3.	Aplicación de análisis espacial .....	47
3.2.4.	Fase 4: Generación y análisis de resultados .....	55
3.2.4.1.	Generación de resultados .....	55
3.2.4.2.	Análisis de resultado .....	55
3.2.4.3.	<b>Recomendaciones</b> .....	55
4.	<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	56
4.1.	<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b> .....	56
4.1.1.	Variables esenciales para la identificación de la desertificación. ....	56
4.1.2.	Variables de trabajo en caso de estudio.....	57

4.1.3.	Depuración y estructuración de la información.....	59
4.1.4.	Análisis Espacial y generación de resultados.....	60
<b>4.2.</b>	<b>ANALISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>66</b>
4.2.1.	Panorama Internacional, Nacional y Regional. ....	66
4.2.2.	Panorama Local.....	68
4.2.3.	Principales variables utilizadas en Colombia. ....	69
4.2.4.	Existencia y calidad de la información en la zona de estudio.....	71
4.2.5.	Adecuación de metodologías Nacionales al nivel local. ....	72
4.2.6.	Herramientas SIG y Análisis espacial.....	73
4.2.7.	Comparación de resultados .....	73
<b>4.3.</b>	<b>RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS</b> .....	<b>76</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>78</b>
<b>6.</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>80</b>

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Procesos de degradación del Suelo

Figura 2. Localización general área de estudio

Figura 3. Cercanía del municipio de Alpujarra al Desierto de la Tatacoa

Figura 4. Diagrama del Proceso metodológico

Figura 5. Modelo conceptual de la información

Figura 6. Modelo de análisis espacial de la información

Figura 7. Estandarización de la información geográfica

Figura 8. Mapa de sensibilidad por el tema clima

Figura 9. Mapa de sensibilidad por el tema suelo

Figura 10. Mapa de susceptibilidad a la desertificación

Figura 11. Mapa de riesgo por uso del suelo

Figura 12. Mapa de riesgo a la desertificación

Figura 13. Mapa Nacional de tendencia a la desertificación

Figura 14. Mapa de riesgo a la desertificación Vs. Áreas Desérticas

## **LISTADO DE TABLAS**

Tabla 1. Clasificación de las variables

Tabla 2. Rangos de clasificación de las variables del tema Clima

Tabla 3. Rangos de clasificación de las variables del tema suelos

Tabla 4. Rangos de clasificación variable uso del suelo

Tabla 5. Tabla de análisis para la agrupación de resultados

Tabla 6. Variables esenciales para la evaluación de la desertificación

Tabla 7. Variables de trabajo en zona de estudio

Tabla 8. Sensibilidad a la desertificación. Municipio de Alpujarra (Tolima)

Tabla 9. Zonas en Riesgo de desertificación. Municipio de Alpujarra (Tolima)

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. ANTECEDENTES

Entre los temas que han despertado mayor preocupación por la comunidad internacional se encuentra el acelerado proceso de desertificación de los suelos, dado que genera grandes pérdidas ecosistémicas y económicas que colocan en riesgo la seguridad alimentaria de muchas regiones del mundo. Es por esto que en las últimas décadas se han consolidado estrategias y políticas vinculantes a nivel internacional para combatir la desertificación.

En la Cumbre para la Tierra de Río de Janeiro, adelantada en 1992 se dio un gran paso para prevenir la degradación de las tierras, al conformar la Convención de la Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía (UNCCD), la cual fue aprobada finalmente el 17 de junio de 1994 y hasta el momento 195 países y una organización regional (La Unión Europea), han ratificado la Convención.<sup>2</sup>

Colombia como parte de esta convención desde el año 1999, ha expresado su preocupación y compromiso frente al fenómeno de la desertificación; de esta manera ha elaborado el “Plan de Acción Nacional de Lucha Contra La Desertificación y la Sequía en Colombia – P.A.N-“(MAVDT, 2005) y ha desarrollado los Protocolos de Degradación de Suelos y Tierras por Desertificación, Erosión y Salinización (IGAC, IDEAM Y MAVDT, 2010). Todo esto con el objeto de establecer lineamientos que sirvan de apoyo a los entes encargados de la ordenación del territorio a nivel nacional, regional y local para tomar medidas preventivas.

---

<sup>2</sup> UNCCD. (2013). 11ª Sesión de la Conferencia de las Partes Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación. Recuperado de <http://www.unccd.int/en/Pages/default.aspx>

Con estos esfuerzos los resultados sobre el tema en Colombia, se fundamentan en información a escala nacional o regional (1:500.000 o 1: 250.000); resultados poco operativos a niveles locales como los municipios.

En Colombia existen diversas zonas desérticas, que con los continuos cambios climáticos sumados a la excesiva intervención antrópica en sus alrededores, aceleran los cambios de los componentes biótico y abiótico. Una de estas zonas es el desierto de la Tatacoa, donde las comunidades aledañas expresan su preocupación por la disminución en la capacidad productiva del suelo y la posible expansión de este desierto con procesos como la desertificación y la erosión.

El desierto de la Tatacoa se encuentra incluido dentro del Plan de Ordenamiento Territorial Departamental, (Huila), como inmueble de patrimonio del departamento, con objetivo turístico en pro del desarrollo del departamento. Con el objeto de tener una información consolidada se elaboró en el año 2006, el documento “Formulación del Plan de Manejo y Declaratoria como Área Natural Protegida del Desierto de la Tatacoa” (Universidad Sur Colombiana, 2006).

En el Plan de Acción Trienal (PAT), realizado por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), en el año 2007 se maneja esta zona, como la “Ecorregión Desierto de la Tatacoa”; La CAM además de hacer una descripción general de la misma, evidencia los diferentes conflictos de uso del suelo que se presentan, los cuales conllevan a agudizar los problemas erosivos, como lo son la tala de los bosques de galería, la ganadería extensiva sobre zonas de vida sensibles a los procesos erosivos y malas prácticas por parte de las comunidades existentes en la zona; así como también predice los futuros problemas de erosión y déficit hídrico en todo el sector.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

Utilizar herramientas de Sistemas de Información Geográfica – SIG, en la identificación y análisis de las distintas variables que inciden en el proceso de desertificación en el Municipio de Alpujarra Tolima, aledaño al desierto de la Tatacoa, para determinar las zonas más vulnerables al proceso de desertificación.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Identificar las variables con más influencia en los procesos de desertificación, según la literatura científica
- Integración de variables y delimitación de las zonas más vulnerables al proceso de desertificación en el área de estudio con herramienta de SIG.
- Análisis comparativo frente a resultados regionales en el área de estudio.

### **1.2.3. Preguntas de investigación**

- ¿Cuáles son las principales variables que influyen en el proceso de desertificación?
- ¿Son aplicables las variables utilizadas en análisis nacional y regional al nivel local, para determinar la vulnerabilidad al proceso de desertificación?
- ¿Se puede generar un modelo de análisis espacial de desertificación con la información existente en los municipios?
- ¿Pueden las entidades locales apoyarse de manera confiable en la información existente en sus municipios para la toma de decisiones?
- ¿Es útil y asequible la aplicación de herramientas SIG al nivel municipal?

### **1.3. HIPÓTESIS**

Se pueden adecuar las variables utilizadas a nivel nacional y regional para la determinación de zonas vulnerables a la desertificación con ayuda de los sistemas de información geográfica para análisis a nivel local.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

La gran importancia que actualmente representa la información espacial en distintas instituciones u organizaciones con capacidad de generar políticas óptimas para la administración del territorio, conlleva a que estas requieran del fácil acceso a esta y que tengan la necesidad de implementar herramientas y procedimientos adecuados que les permitan dar valor agregado a la organización del territorio como soporte a una eficiente toma de decisiones y definición de políticas sociales y ambientales.

Debido a la falta de acompañamiento y seguimiento de las políticas y estrategias ambientales que se desarrollan a nivel nacional para su aplicación a nivel local en Colombia, se observa como muchos municipios tienen bastantes conflictos entre el desarrollo de las actividades económicas por parte de sus comunidades y la conservación del medio ambiente.

Uno de esos conflictos es el uso inadecuado del suelo que sumados a los continuos y agudos cambios en el clima de las últimas décadas, contribuyen para que algunas zonas se encuentren altamente amenazadas por los procesos de degradación de suelos. “Los principales procesos que intervienen en la

degradación de los suelos y tierras en Colombia son la erosión, la salinización y la desertificación” (IGAC, IDEAM Y MAVDT, 2010, p. 7).

Para responder de manera adecuada a la mitigación de la desertificación en zonas afectadas por este fenómeno, las administraciones municipales necesitan articular sus políticas, implementar metodología y procesos acordes a los lineamientos nacionales o regionales que les permita aunar esfuerzos y aportar positivamente a la generación de soluciones.

A razón de esto es urgente comenzar a desarrollar procesos metodológicos que sean de fácil aplicación y acceso por parte de administraciones locales teniendo en cuenta sus limitantes técnicos y presupuestales.

## **1.5. ALCANCE**

El presente proyecto, propone identificar y analizar las variables de mayor relevancia en el proceso de desertificación, siguiendo los lineamientos nacionales de manera que nos permita realizar una delimitación de las áreas con mayor vulnerabilidad a el proceso de desertificación en el municipio de Alpujarra (Tolima), ubicado al nor-orienté del desierto de la Tatacoa; con el apoyo de herramientas de Sistemas de Información Geográficas (SIG).

Se pretende lograr la articulación de las metodologías utilizadas a nivel nacional (escala 1:500.000) con metodologías de análisis espacial, de manera que sirva para brindar un soporte a nivel local (escala 1:25.000) en la toma de decisiones y generación de políticas de la dimensión ambiental del municipio mencionado.

El presente documento muestra inicialmente generalidades acerca de las políticas y determinación de variables para el monitoreo de las zonas en riesgo de desertificación; así como también generalidades de la zona de estudio. Luego se encuentra el desarrollo de la metodología planteada, donde se relaciona la metodología que sirvió de orientación, los procesos de selección, valoración y ponderación de las variables.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. IMPORTANCIA DEL SUELO**

Se han desarrollado múltiples definiciones para el término de suelo, ligadas a su funcionalidad, características o ciencia de aplicación, los cuales van desde conceptos muy sencillos a otros bastantes complejos.

(Jaramillo, 2002), presenta la siguiente definición: “el suelo es aquella delgada capa, de pocos centímetros hasta algunos metros de espesor, de material terroso, no consolidado, que se forma en la interface atmósfera – biosfera – litosfera. En ella interactúan elementos de la atmósfera e hidrosfera (aire, agua, temperatura, viento, etc.), de la litosfera (rocas, sedimentos) y de la biosfera y se realizan intercambios de materiales y energía entre lo inerte y lo vivo, produciéndose una enorme complejidad.”(p. 21). Definición bastante extensa, pero a su vez muy completa según sus características.

Es por esa complejidad entre lo inerte y lo vivo que el suelo se convierte en un recurso de sustento y muy valioso para las comunidades. “El suelo, como capa superior de la corteza terrestre, desempeña una serie de funciones claves tanto ambientales como sociales y económicas, que resultan fundamentales para la vida” (IGAC, IDEAM & MAVDT, 2010, p. 11).

“En términos generales el suelo es el sustrato en el cual se localizan y desarrollan múltiples actividades del hombre, razón por la cual se le considera un recurso multifuncional.” (López, 2002). El suelo brinda las condiciones físicas y químicas para el sostenimiento de las plantas, permitiendo desarrollar actividades de las comunidades como la agricultura, la ganadería, el

aprovechamiento forestal etc. Esto convierte al suelo en el soporte e inicio de la mayoría de las actividades primarias de sustento para el ser humano.

Los distintos especialistas en el estudio del suelo están de acuerdo en definirlo como un recurso natural no renovable y que la calidad de este, está determinada por la integración de sus componentes biológicos, químicos y físicos, lo cual permite determinar la capacidad productiva de los mismos. Pero al ser un recurso tan expuesto a los múltiples cambios de los elementos atmosféricos y a la intervención de las actividades antrópicas, la alteración de sus componentes lo vuelve un recurso sensible y con bastante vulnerabilidad a procesos de degradación.

Esto procesos de degradación del suelo conlleva problemas inmediatos sobre la sociedad como poner en riesgo la seguridad alimentaria de las comunidades, minimizar su capacidad productiva, la alteración de los ecosistemas, entre otros.

Este tipo de problemas son los que despierta la expectativa de los gobiernos, comunidad científica, organizaciones, entidades estatales y comunidad en general a tomar medidas de mitigación para la protección de este recurso tan valioso.

## **2.2. PROCESOS DE DEGRADACION DE LOS SUELOS**

El suelo al ser un recurso limitado y expuesto a los cambios y/o alteraciones de los fenómenos atmosféricos en general, así como a las actividades humanas que lo ha intervenido continuamente como un recurso inagotable sin el mayor control sobre estas; ha comenzado desde hace varias décadas a evidenciar las

consecuencias de este uso desmedido, principalmente con la disminución de su calidad que se ve reflejada en la capacidad productiva y deterioro del mismo.

Especialistas en el área así como organizaciones, han investigado los factores que influyen en el deterioro del recurso suelo; permitiendo construir múltiples definiciones sobre la degradación de este.

La definición de López (2010) leída en la publicación de Guerra (2010): la degradación del suelo es la pérdida parcial o total de su productividad, ya sea cuantitativa o cualitativa, como resultado de procesos tales como la erosión hídrica, erosión eólica, salinización, deterioro de su estructura, contaminación, encostramiento, inundación, agotamiento y pérdida de elementos nutritivos, desertificación, etc. (López, B. 1994, citado en Guerra, 2010, p. 4). Consolida de manera muy completa la opinión de muchos autores.

La convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía - UNCCD (1994), define la degradación de las tierras como:

La reducción o la pérdida de la productividad biológica o económica y la complejidad de las tierras agrícolas de secano, las tierras de cultivo de regadío o las dehesas, los pastizales, los bosques y las tierras arboladas, ocasionada, en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, por los sistemas de utilización de la tierra o por un proceso o una combinación de procesos, incluidos los resultantes de actividades humanas y pautas de poblamiento, tales como: (i) La erosión del suelo causada por el viento o el agua, (ii) El deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas

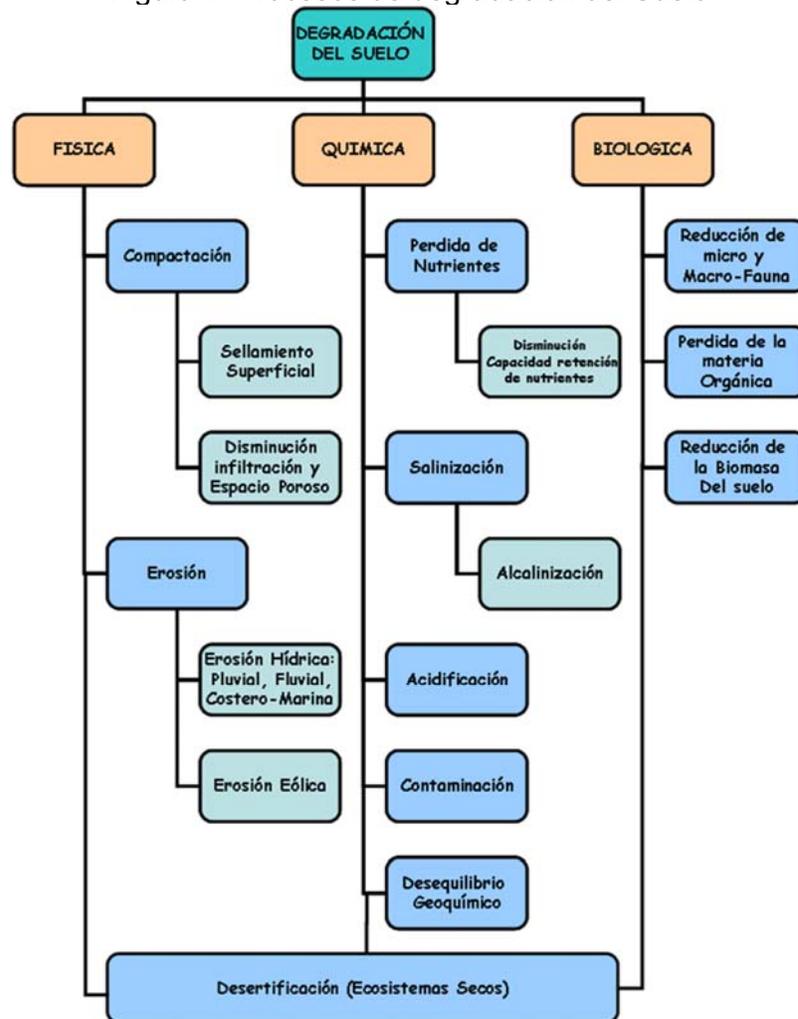
o de las propiedades económicas del suelo, y (iii) La pérdida duradera de vegetación natural. (UNCCD, 1994, p. 5)

Como se puede observar en esta última definición, se organiza la degradación de los suelos en tres grupos dependiendo del tipo de proceso que la produce. Pero los tres se encuentran altamente relacionados ya que cada proceso incide de manera directa en los otros.

Lal y Steward (1990) según publicación de López, (2002): agrupa los procesos de degradación del suelo, en tres tipos principales: física, química y biológica. Cada uno de estos tipos incluye diferentes procesos de degradación. (Lal y Steward, 1990, citado en López, 2002, p. 74); Esta agrupación es consecuente con el segundo grupo de la definición de UNCCD y por consiguiente la entidades que en Colombia lideran el tema, como lo es el IDEAM, han concebido la degradación del suelo teniendo en cuenta estos tres tipos de procesos, como lo podemos ver en la figura 1

En la figura 1, se resalta que la desertificación es un proceso que se encuentra transversal en estos tres tipos, como resultado de la confluencia de todos ellos.

Figura 1. Procesos de degradación del Suelo



Fuente: [www.siac.gov.co](http://www.siac.gov.co) (IDEAM, 2012)

Para entender mejor los procesos mencionados en estas agrupaciones y la interacción entre ellos; a continuación se dará una breve explicación de cada uno de estos.

## 2.2.1. La degradación física

### 2.2.1.1. La compactación

Como su palabra lo indica es el proceso en el cual la masa del suelo es sujeta a la compresión, haciendo este de menor volumen. “En este proceso, cambios en las propiedades de la densidad son acompañados

por cambios en las propiedades estructurales” (López, 2002). Entre las principales causas de este proceso se encuentran el uso excesivo de la ganadería y el uso de maquinaria en zonas de agricultura mecanizada.

#### **2.2.1.2. La erosión**

Es tal vez el proceso más conocido y el vocablo más común en la comunidad en general cuando se habla de procesos de degradación del suelo. De manera más detallada León (2002, La erosión de suelos, ¶ 1), define: “La erosión es el conjunto de procesos en la superficie de la corteza terrestre que producen pérdida física del suelo cultivable en grado variable”. Se presenta por diversas causas o factores como son la fuerza de gravedad, la acción del agua o del viento; siendo el ser humano el agente de mayor importancia en la erosión a través de sus actividades, debido a que incide sobre las coberturas vegetales (León, 2002).

En la literatura comúnmente encontramos este proceso dividido según los dos principales factores naturales que lo causan, como lo son el agua y el viento. Es así como se clasifica en erosión hídrica o erosión eólica.

### **2.2.2. La degradación química**

#### **2.2.2.1. Pérdida de Nutrientes**

Es la disminución de los compuestos químicos del suelo que permiten el crecimiento de las plantas. “La pérdida de nutrientes produce el agotamiento de los suelos por falta de aplicación de materia orgánica y restitución de nutrientes extraídos por las cosechas especialmente en monocultivos”. (MAVDT & IDEAM, 2005)

#### **2.2.2.2. Salinización**

“La salinización es la acumulación de sales solubles en de sodio, magnesio y calcio en el suelo.” (Soil Atlas of Europe, 2005); lo cual afecta el desarrollo de las plantas y su crecimiento, por ende incide sobre la producción agrícola.

#### **2.2.2.3. Acidificación**

Según Ulrich (1991) en publicación de Lillo, (s/f), es la disminución de la capacidad de neutralización de un ácido y/o incremento en la capacidad de neutralización de bases y/o un incremento en la fuerza ácida (pH decrece) del suelo.

#### **2.2.2.4. Contaminación**

“La contaminación puede ser definida como la liberación, en un ambiente compartido y en contra de intereses comunes, de sustancias ofensivas como subproductos o desechos”. (López, 2002).

En términos generales la contaminación es la introducción de elementos extraños y dañinos al suelo. Para este encontramos distintos contaminantes que se pueden clasificar según el origen de las actividades antrópicas en: agrícolas, actividades urbanas e industriales. Los contaminantes pueden llegar al suelo directamente, como en el caso de los insumos agrícolas o indirectamente por medio del agua y la atmosfera.

### **2.2.2.5. Desequilibrio Geoquímico**

La introducción de grandes cantidades de elementos químicos como el carbono, el hidrogeno, sulfuro, fosforo, sodio, oxígeno y calcio entre otros elementos al suelo, produce descompensaciones de estos elementos; esto es lo que se conoce como el desequilibrio geoquímico.

## **2.2.3. La degradación biológica**

### **2.2.3.1. Reducción de Micro y Macro – Fauna**

Los diversos procesos de degradación física y químicas del suelo, influyen de manera directa en la Micro y Macro fauna, debido a que el cambio de sus características, principalmente la reducción de nutrientes, disminuyen los micro organismos que existen en el suelo; así como también al alterarse estas características, varían las condiciones superficiales afectando directamente la macro fauna, lo cual ocasiona su migración o disminución de sus poblaciones.

### **2.2.3.2. Pérdida de la Materia Orgánica**

La materia orgánica son: “restos de plantas y animales, en diferentes estados de transformación, exudados, radicales, aportes orgánicos externos – estiércol, compost – y productos xenobióticos, así como los organismos edáficos – biomasa del suelo – y los productos resultantes de su senescencia y metabolismo.” (Labrador, 2001)

Se puede entender que la materia orgánica se encuentra compuesta por los organismos vivos del suelo y por los residuos en distinto grado de descomposición de los organismos muertos y por lo tanto es fundamental

para los procesos productivos del suelo, ya que es un gran depósito de nutrientes, por lo que su pérdida representa la primera gran amenaza de la degradación de los suelos.

#### **2.2.3.3. Reducción de la Biomasa del suelo**

La Biomasa, “Se refiere a la parte viviente de la materia orgánica”. (Vidal, Etchevers, & Fischer, 1997). De manera más clara hace referencia a todos los microorganismos que se encuentran en la materia orgánica del suelo y que son los encargados de realizar los valiosos procesos de transformación de los materiales orgánicos.

#### **2.2.4. La desertificación**

Según la Convención de la Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía, “por desertificación se entiende la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas.” (UNCCD, 1994).

En complemento a esta definición y de manera más amplia, el protocolo de desertificación del IGAC, IDEAM & MAVDT, agrega elementos como: “...la reducción o pérdida de la productividad biológica o económica del sistema bioproductivo terrestre que comprende el suelo, la vegetación, otros componentes de la biota y los procesos ecológicos e hidrológicos, especialmente en los ecosistemas de las zonas secas...” (IGAC, IDEAM & MAVDT, 2010, p. 17).

De estas definiciones, así como de las realizadas por otros autores, se puede percibir el la gravedad de este fenómeno, debido al daño que se causa al suelo, a los ecosistemas y al sistema productivo encadenado a estos, afectando la sostenibilidad de la población y de los distintos seres vivos que depende de este; principalmente por factores climáticos y por las no planificadas actividades humanas.

### **2.3. CONTEXTO INTERNACIONAL EN LA LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN DEL SUELO**

Como se mencionó anteriormente existe una preocupación compartida por muchos estados frente a los problemas ambientales y a la degradación del suelo; debido a esta preocupación en La Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, conocida como la Cumbre para la Tierra de Río de Janeiro, adelantada en junio de 1992 se comenzó con las gestiones para prevenir la degradación de las tierras, al promover la Convención de la Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía (UNCCD), la cual fue aprobada el 17 de junio de 1994 y entró en vigor en 1996 y a la cual hasta el momento 195 países y una organización regional (La Unión Europea), la han ratificado.

Esta masiva vinculación, demuestra el interés y compromiso de los gobiernos por la generación políticas, estrategias y acciones encaminadas a mitigar el fenómeno de la desertificación un pro del beneficio de sus pueblos.

Actualmente se cuenta con el Plan y Marco estratégico decenal para mejorar la aplicación de la convención, 2008-2018 (conocido como “La Estrategia”), adoptado en el 2007. “La Estrategia especifica los cuatro objetivos estratégicos y los cinco objetivos operacionales conexos que deben alcanzarse durante este periodo.” (UNCCD, 2013)

Como parte de los compromisos se estableció la conferencia de las partes como órgano supremo de la convención, la cual se reúne bianualmente con el objeto de negociar y tomar decisiones claves; la última conferencia realizada tuvo lugar en Windhoek, Namibia en septiembre del 2013.

Así como también se estableció el compromiso de todos los países miembros de presentar los Planes de Acción Nacional de lucha contra la desertificación y la sequía (PAN); para determinar los factores que contribuyen a la desertificación y las medidas prácticas necesarias para luchar contra la desertificación y mitigar los efectos de la sequía. (UNCCD, 1994).

## **2.4. CONTEXTO NACIONAL EN LA LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN DEL SUELO**

Colombia hace parte de la Convención de la Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía (UNCCD); a la cual se vinculó mediante la Ley 461 del 4 de agosto de 1998, realizando la ratificación el día 8 de junio de 1999 ante Naciones Unidas.

Esto demuestra el interés del país en generar políticas articuladas que le permitan mitigar este fenómeno, ya que ha identificado que tiene bastantes zonas clasificadas como ecosistemas de las zonas secas (áridas, semiáridas y secas subhúmedas), donde se presenta un fuerte impacto con las actividades agropecuarias.

Como parte de las acciones, Colombia ha presentado tres informes sobre la implementación de la UNCCD; el primero en el año 2000, el segundo en el años 2002 y el tercero en el año 2007. Estos en cumplimiento a los compromisos internacionales adquiridos por el país como parte del UNCCD, como medios para mostrar los esfuerzos del gobierno en la lucha contra la degradación de tierras, la desertificación y la sequía.

También ha presentado el “Plan de Acción Nacional de Lucha Contra La Desertificación y la Sequía en Colombia – P.A.N-“(MAVDT, 2005), con el fin de generar directrices a nivel nacional, regional y local. De igual manera ha desarrollado el Protocolo de Degradación de Suelos y Tierras por Desertificación (IGAC, IDEAM Y MAVDT, 2010).

Esto demuestra los esfuerzos de las entidades de orden nacional ante la problemática, pero a nivel regional la responsabilidad se encuentra sobre las corporaciones autónomas regionales, las cuales desarrollan el Plan de Acción Trienal (PAT), como seguimiento a sus recursos y acciones sobre la protección y problemática que sobre ellos se presentan. Es así como la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), generó en el 2007 el PAT que incluyó la problemática de desertificación que se genera entorno a la “Ecorregión Desierto de la Tatacoa”.

## **2.5. HERRAMIENTAS SIG EN LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS EN DESERTIFICACIÓN**

Los avances tecnológicos de las últimas décadas han permitido la incorporación de nuevas herramientas, como lo son los sistemas de información geográfica en diversas áreas de estudio. Es así como se ha acudido a insumos, herramientas y procedimientos propios de los SIG, como lo son: las imágenes de satélite, la fotointerpretación, los análisis multitemporales, la modelación de los recursos, análisis espacial, entre otros; para observar fenómenos como la desertificación de tal manera que permitan la implementación de procesos metodológicos para analizar y mitigar sus impactos.

En Colombia se ha desarrollado El Protocolo de Degradación de Suelos y Tierras por Desertificación, el cual tiene como objetivo “Determinar las bases conceptuales y metodológicas que describan los métodos, procesos y técnicas para adelantar la identificación y evaluación de la degradación de suelos y tierras por desertificación.” (IGAC, IDEAM & MAVDT, 2010). El protocolo ha seguido los lineamientos de la UNCCD para establecer la identificación y evaluación de este proceso.

De igual manera se ha desarrollado lineamientos aplicando herramientas de SIG, como por ejemplo el proyecto LADA con documentos como la elaboración de mapas de degradación del suelo según CDE/WOCAT, FAO/LADA, (2008) y procedimientos para mapeo en SIG, propuestos por Huting, J. Dijkshoorn, J. & Van, E. (2007).

En el desarrollo del presente caso de estudio se seguirán estos protocolos y lineamientos y adicionalmente se incorporaran procedimientos y herramientas SIG, que permitan depurar, estructurar y aprovechar al máximo la información local inicial.

### **3. METODOLOGÍA**

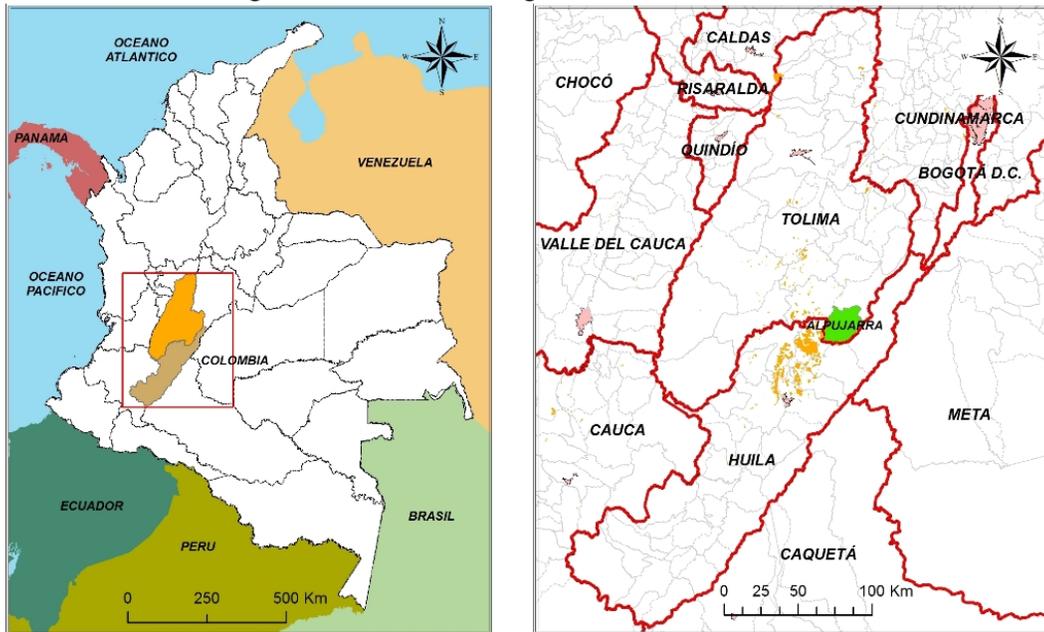
#### **3.1. Localización del área de estudio**

El desierto de la Tatacoa se encuentra localizado en el departamento del Huila (Colombia), en el municipio de Villavieja; es una de las zonas áridas más grande del país y por diversos factores, los procesos de desertificación se han generado de manera expansiva sobre los municipios que se encuentran alrededor como lo son: Aipe, Baraya y Tello en el departamento del Huila y Alpujarra y Natagaima en el departamento del Tolima.

De estos municipios aledaños se seleccionado como caso de estudio Alpujarra (Tolima), ya que su Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), cuenta con disponibilidad de información geográfica de manera muy completa para realizar los procedimientos planteados en el presente proyecto.

Alpujarra es un municipio ubicado en el sur oriente del departamento del Tolima, según datos del EOT, a 161 Km del sureste de la ciudad de Ibagué, capital departamental, 223 Km al suroeste de la capital de la República y 78 Km al noreste de la ciudad de Neiva, su altura varia de 440 a 2200 msnm, variación que le permite disponer de diferentes pisos térmicos. (EOT, 2002). Características que también lo ubican dentro de las zonas potenciales a sufrir los procesos de degradación del suelo por desertificación.

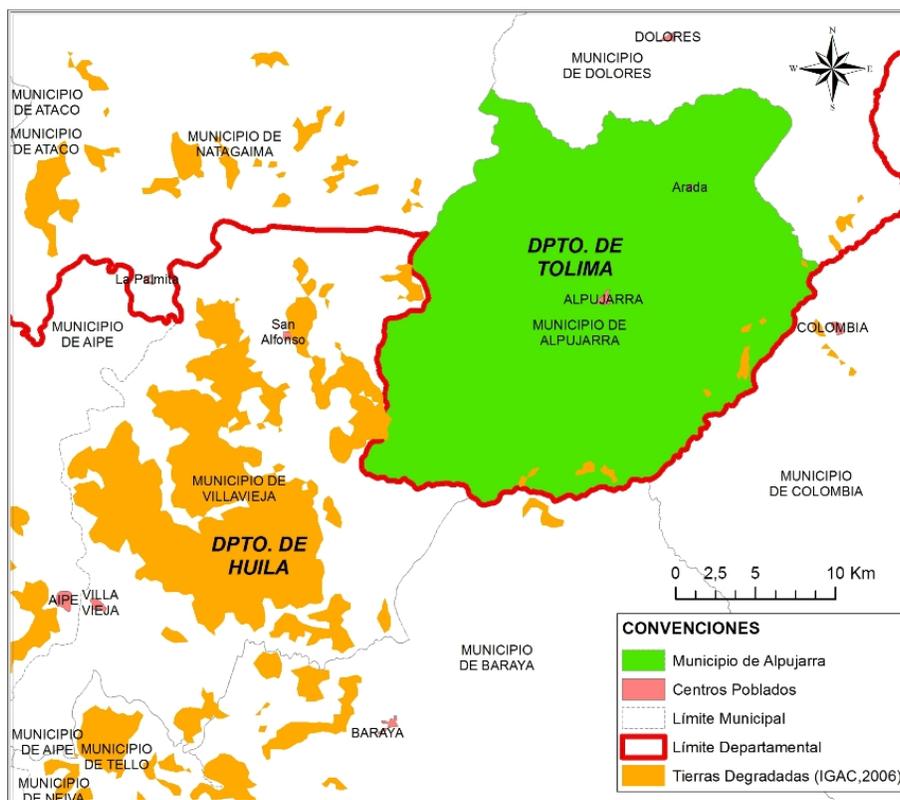
Figura 2. Localización general área de estudio



Fuente: El Autor

La zona delimitada como área del desierto según el IGAC en el año 2006 (Capas de usos del Suelo, 1:100.000), se encuentra muy cerca al centro poblado del municipio y como se evidencia posteriormente, este tiende a expandirse debido a factores como el cambio climático que se ha acelerado en los últimos años y las actividades antrópicas, principalmente el pastoreo extensivo y las malas prácticas en el manejo de cultivos y del suelo, como lo son la tala de árboles, las quemas y las malas prácticas de cultivo.

Figura 3. Cercanía del centro poblado del municipio de Alpujarra al Desierto de la Tatacoa



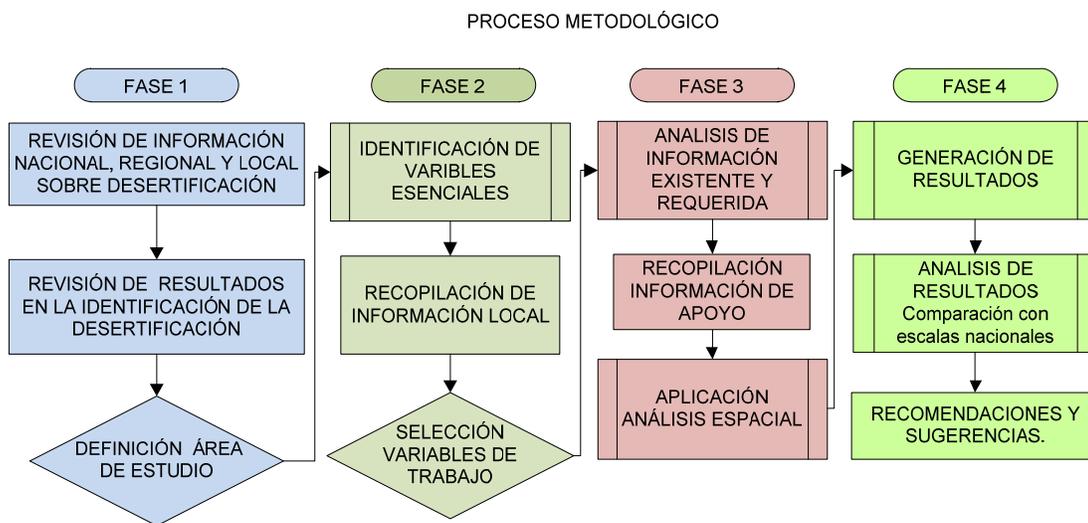
Fuente: El Autor.

### 3.2. Proceso Metodológico

Este trabajo se realizará con una metodología dividida en cuatro fases; la primera fase es la conceptualización básica y definición de área de estudio, la cual implica procesos de investigación que llevan a conocer generalidades sobre la desertificación hasta la selección del área de estudio. La segunda fase es la identificación y selección de variables de trabajo, esta enmarca los procesos de identificación de variables comúnmente utilizadas en la determinación del riesgo a la desertificación y la selección de variables disponibles en la zona de estudio; la tercera fase se enfoca en la exploración y

análisis de toda la información existente a nivel local, la consulta de información secundaria como apoyo al proceso y los procedimientos de análisis espacial requeridos. Por último se presenta una cuarta fase que comprende la presentación de resultados, delimitando las zonas en riesgo de desertificación identificadas en la zona objeto de estudio, su análisis y comparación de con resultados a escala nacional, hasta las recomendaciones y sugerencias.

Figura 4. Diagrama del Proceso metodológico



### 3.2.1. Fase 1: Conceptualización básica y definición de área de estudio

#### 3.2.1.1. Revisión de información Nacional, Regional y Local sobre desertificación.

El primer paso de esta fase, consiste en la consulta e investigación de la bibliografía existente, de la revisión de proyectos, estudios de investigación y documentación asociada al tema de desertificación y los

procesos de mitigación que se han adelantado en el contexto internacional y nacional en las diferentes escalas (estatal, regional y local).

Adicionalmente se contempla la revisión de las políticas implementadas para la lucha contra la desertificación por todos los países vinculados a UNCCD, comprendiendo los avances actuales y los resultados de su aplicación.

### **3.2.1.2. Revisión de resultados en la identificación de la desertificación.**

En este paso se realiza la consulta sobre las publicaciones institucionales (documentos, mapas, proyecciones, etc.) de los logros alcanzados en el marco de la lucha contra la desertificación en Colombia a nivel nacional, regional y local.

En estos escenarios Colombia ha trabajado activa y conjuntamente las instituciones de orden Nacional encargadas de producir la información geográfica y de monitorear los recursos, dentro de estas se encuentran el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS antes MAVDT), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), los cuales han caracterizado a escala 1:500.000 y 1:250.000 los procesos de degradación de tierras, haciendo énfasis en los procesos de erosión, salinidad y desertificación.

Uno de los análisis disponibles en el país, son los mapas generados a partir del modelo para la zonificación de zonas en desertificación en Colombia (IDEAM, 2005 y 2009) a escala 1:500.000, construido a partir

de lineamientos establecidos de manera interinstitucional y consolidado en documentos como el “Plan de Acción Nacional de Lucha Contra La Desertificación y la Sequía en Colombia – P.A.N-“(MAVDT, 2005) y los Protocolos de Degradación de Suelos y Tierras por Desertificación, Erosión y Salinización (IGAC, IDEAM Y MAVDT, 2010).

Otro de los insumos relevantes es la capa de usos del suelo del país desarrollada por el IGAC a escala 1:100.000, la cual ha sido definida en diferentes temporalidades, brindando una ventana espacial en la que se identifican las tierras desnudas o degradadas a partir de interpretación de imágenes de satélite.

Adicionalmente se cuenta con algunos de los resultados y avances que a nivel regional han desarrollado algunas Corporaciones Autónomas Regionales.

### **3.2.1.3. Definición del área de estudio.**

Una vez realizada la revisión de información temática disponible y el análisis de avance del país con sus respectivos resultados a escala Nacional y Regional, se procede con la identificación de las áreas que presentan un mayor nivel de desertificación en el país, con lo cual se delimita el área de interés enfocando el esfuerzo de análisis en esta y sus zonas aledañas, realizando la consulta y recopilación de la información existente para el correspondiente análisis espacial.

La determinación del área de estudio, se realiza principalmente en las zonas aledañas a sitios identificados como desertificados y de gran

importancia desde el punto de vista ambiental y socioeconómico; así mismo se identifican los resultados nacionales sobre la susceptibilidad a presentar los procesos de desertificación según las publicaciones del IDEAM.

El municipio es la entidad territorial mínima en la división político-administrativa en Colombia, y su finalidad es brindar bienestar general y mejoramiento en la calidad de vida de la población que reside dentro de su territorio.

El presente proyecto pretende tener el nivel local como meta de análisis y por lo tanto se enfocará a tener como unidad mínima de trabajo el territorio de un municipio.

Conforme a la revisión literaria, la Universidad Surcolombiana (2006), identifica el denominado Desierto de la Tatacoa como una zona representativa de las regiones áridas y semiáridas del Alto Magdalena; siendo esta la principal cuenca hidrográfica representativa del país.

La población asentada en los municipios aledaños al Desierto de la Tatacoa, han desarrollado actividades agropecuarias durante décadas, sin la adecuada planificación y control, esto ha generado una problemática ambiental que conlleva el inadecuado control y monitoreo de los recursos naturales, la intervención a ecosistemas sensibles, la falta de protección y contaminación a fuentes hídricas y la degradación del suelo.

Teniendo en cuenta esta información se decidió enfocar este estudio en las zonas aledañas al Desierto de la Tatacoa, debido a que por múltiples

medios de comunicación (artículos, noticias, las comunidades), se ha manifestado la expansión de este desierto afectando directamente a los pobladores de estas zonas. Problema que no ha sido abordado con la importancia que se debe por ninguno de los Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT), planteados por los municipios afectados.

El procedimiento de selección del área objeto de estudio se realizó teniendo en cuenta criterios que favorecen el objetivo de trabajo, bajo los siguientes pasos:

1. Reconocimiento del área delimitada como desierto; en este se tuvo como insumo la capa de usos del suelo del IGAC, seleccionando las áreas degradadas existentes y se observó que el área neta en calidad de Desierto se encuentra en el Municipio de Villavieja (Huila). (Ver figura 3).
2. Inventario de los municipios aledaños: Se realizó una identificación de los municipios que circundan el desierto, teniendo como resultado los municipios de Aipe, Baraya y Tello en el Departamento del Huila y Alpujarra y Natagaima en el Departamento del Tolima.
3. Consulta y recopilación de la información existente en los municipios identificados: En este paso se obtuvo disponibilidad de información (alfanumérica y geográfica) en todos los municipios seleccionados exceptuando Aipe (Huila).
4. Evaluación de la disponibilidad y calidad de la información existente: De la información recopilada de cada uno de estos municipios se evaluó con parámetros de calidad como exactitud y completitud la

información geográfica, estableciendo como insumo óptimo la información de los municipios de Baraya (Huila) y Alpujarra (Tolima).

Teniendo en cuenta los resultados se optó por el municipio de Alpujarra (Tolima), debido a que se encuentra más distante del área del desierto y no se encuentra tan afectada por los procesos de desertificación, lo cual permite seguir nuestro objetivo de identificar esas zonas en riesgo de desertificación.

### **3.2.2. Fase 2: Identificación y selección de variables de trabajo**

#### **3.2.2.1. Identificación de variables esenciales en la tipificación de zonas desertificadas**

Este primer paso de esta fase, consiste en identificar a partir de la revisión de información existente en el país a cualquier escala (nacional, regional o local), de los procedimientos implementados según lineamiento de UNCCD y de sus respectivos resultados; cuáles son las principales variables o variables mínimas que se han tenido en cuenta en la identificación de zonas con procesos de riesgo a la desertificación.

En la definición de las variables utilizadas para la caracterización de las zonas desérticas, se toman en cuenta las metodologías nacionales, planteadas principalmente por el IDEAM, el MADS y el IGAC; como el “Modelo de Zonificación para la Identificación de Ecosistemas Secos” (IDEAM, 2003), el “Protocolo de Degradación de Suelos y Tierras por Desertificación” (IGAC, IDEAM & MAVT, 2010), el cual desarrolló un modelo conceptual y metodológico de las fases de estudio de la

degradación por desertificación y la metodología utilizada por CDE/WOCAT & FAO/LADA (2007) para la generación de mapas de la degradación.

#### **3.2.2.2. Recopilación de información local (Zona de estudio)**

De acuerdo a la zona de estudio seleccionada, se solicita a las Corporaciones Autónomas Regionales, en este caso CORTOLIMA y CAM, la información (documental y cartográfica) disponibles; ya que estas entidades consolidan los estudios de su competencia y su información fuente (insumos). Esta información es complementaria a la encontrada en los EOT suministrados por administraciones municipales del área de estudio.

Dentro de este proceso se realiza el inventario de la información suministrada diferenciando las temáticas, el tipo de información, la documentación de la misma y su pertinencia para el desarrollo del proyecto.

Para la obtención de información secundaria y de apoyo como base para el desarrollo del trabajo se indagará y se acudirá a las publicaciones de entidades oficiales de orden nacional y regional.

#### **3.2.2.3. Selección de variables de trabajo**

Con la identificación de variables esenciales utilizadas en los ámbitos internacional y principalmente en el nacional según los lineamientos de UNCCD; en documentos como la metodología utilizada por CDE/WOCAT & FAO/LADA (2007), para la generación de mapas de degradación y el

“Protocolo de Degradación de Suelos y Tierras por Desertificación” (IGAC, IDEAM & MAVT, 2010), se realiza la clasificación de la información existente en el área de estudio, seleccionando un mínimo de variables a ser consideradas para la identificación de zonas en riesgo de desertificación.

### **3.2.3. Fase 3: Análisis de información e implementación de procesos**

#### **3.2.3.1. Análisis de información existente y requerida**

En este paso se evalúa la información disponible de la zona de estudio realizando un análisis comparativo de información identificando la consistencia y coherencia entre las capas y evaluando la pertinencia de las variables en cuanto a su contenido y nivel de detalle para la escala de presentación de la información al nivel local (1:25.000).

En caso de no ser suficiente la información disponible se buscará obtener información de las variables a una escala menor para subsanar estas falencias.

Este paso busca evaluar la calidad de la información existente, en virtud de su cantidad, contenido y nivel de detalle; así como validar la relevancia de las variables seleccionadas identificando por medio de sus atributos si existen cambios entre sus unidades o características en la zona de estudio que nos indique factores favorables para la presencia del fenómeno en evaluación, en pro de los objetivos propuestos.

De igual manera se prevé encontrar falencias en cuanto a la falta de estandarización de la información geográfica, y deficiencias de

consistencia lógica, para lo cual de ser necesario se contempla realizar procedimientos como:

**Transformación de coordenadas.** Esto debido a que en Colombia la información geográfica generada por entidades locales, regionales, nacionales o empresas privadas antes del año 2005 se encuentra referenciada al Datum Bogotá y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC a partir del año 2005 adopto mediante la resolución (Resolución 068 de 2005), el datum Magna-Sirgas como el oficial para el país. Debido a que los distintos instrumentos de planeación se generaron a partir del año 1998, con la ley de ordenamiento territorial, se reconoce que la información geográfica asociada a estos se encuentra en Datum Bogotá, por lo que se realizarán los respectivos procesos de transformación de coordenadas al Datum Magna-Sirgas, según los lineamientos y parámetros establecidos por el IGAC. Estos parámetros ya se encuentran predeterminados en el software Arcgis para realizar el procedimiento, por lo que se utilizaran estas herramientas.

**Estandarización de la información en formatos shapefile.** Como la mayoría de la información geográfica de los EOT se encuentra en formatos CAD, es necesario pasar esta información a formatos geográficos utilizados en los SIG de manera que permitan vincular sus atributos en la realización de procesos de análisis espacial. Para esto se escogió trabajar con el formato multiarchivo shapefile y de esta manera tener los elementos geográficos asociados con sus atributos.

**Integridad de la información.** Se validarán reglas básicas a las capas para garantizar un eficiente análisis sobre la información geográfica, las cuales permiten evitar superposiciones de unidades en una misma capa, espacios sin información (vacíos) y duplicidad de polígonos. Estos procesos se realizarán mediante las herramientas de Topología que ofrece ArcGis.

### **3.2.3.2. Recopilación de información de apoyo**

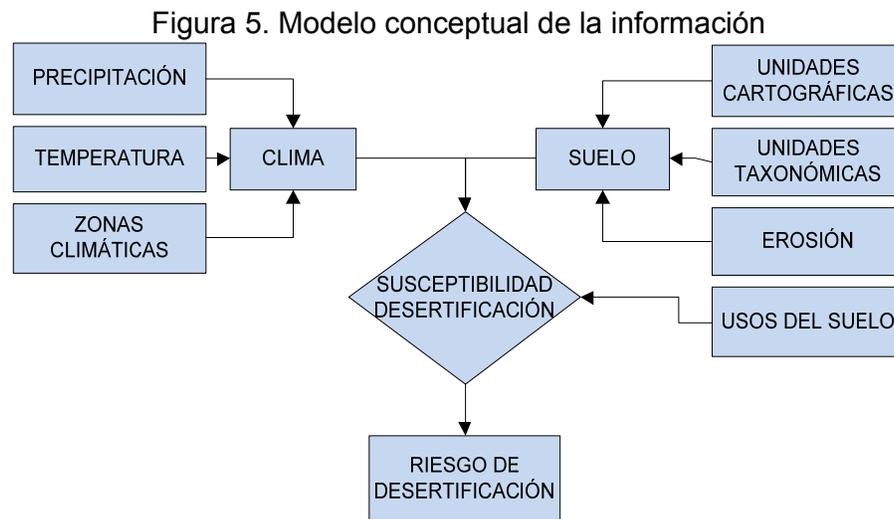
Si se identifica inconsistencias o falencias en la información; evento que es muy probable, debido a que en la mayoría de los casos la información local ha sido levantada por el cumplimiento de la normatividad vigente en el país y no por el interés de las administraciones locales; se procederá a subsanar con la búsqueda de información secundaria en las instituciones regionales, como las corporaciones autónomas o nacionales como el IGAC o el IDEAM, que sirva de complemento para llevar a cabo el ejercicio en la zona de estudio.

### **3.2.3.3. Aplicación de análisis espacial**

A partir de la información consolidada, estandarizada y con la respectiva validación de su integridad, así como de su contenido; se procederá a extraer las capas correspondientes a las variables de trabajo, con sus respectivos atributos que nos permitan llegar al objetivo de identificar las zonas en riesgo de desertificación en el área de estudio; para el análisis de estas variables se plantea agruparlas por temas, como lo expone el “Protocolo de Degradación de Suelos y Tierras por Desertificación” (IGAC,

IDEAM & MAVT, 2010), y la metodología utilizada por CDE/WOCAT & FAO/LADA (2007), para la generación de mapas de degradación; además durante todo el proceso se debe tener cuenta la información existente en el documento Diagnóstico del Esquema de Ordenamiento Territorial - EOT del municipio objeto de estudio para el adecuado análisis de la información.

El modelo conceptual que reúne las unidades de análisis de la información planteado para el presente proyecto es el siguiente:



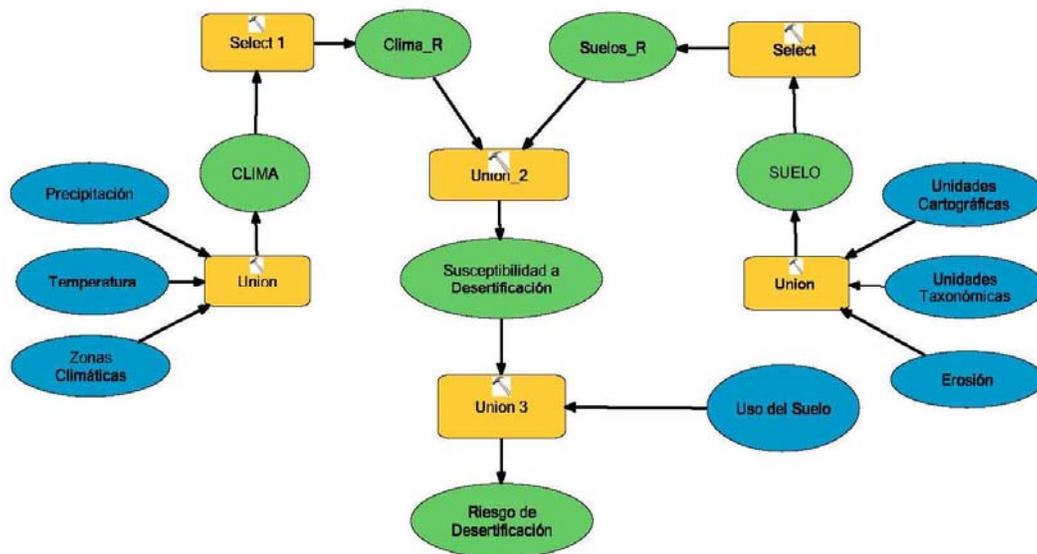
Fuente: el Autor

Una vez identificados los temas y variables se procede a plantear el proceso de análisis espacial de la información, iniciando con la clasificación en rangos de sensibilidad al riesgo de desertificación para cada variable según las características que presenta cada una de sus unidades, siguiendo los lineamientos de las metodologías mencionadas; posteriormente se realizarán las operaciones de análisis espacial comenzando con la unión de variables por temas lo que permite obtener

la sensibilidad a la desertificación por tema y posteriormente evaluar la susceptibilidad y el riesgo al proceso de desertificación en su conjunto con la unión de los resultados obtenidos previamente.

El modelo de análisis espacial de la información planteado para el presente proyecto es el siguiente:

Figura 6. Modelo de análisis espacial de la información



Fuente: el Autor

Cada una de las variables se clasificará en las siguientes clases según sus características de sensibilidad al riesgo de desertificación:

Tabla 1. Clasificación de las variables.

CLASE	SÍMBOLO
Muy Alto	MA
Alto	A
Moderado	M
Bajo	B
Muy Bajo	MB
Zonas Urbanas	ZU

Fuente. El Autor

Para establecer los rangos en cada una de las variables, se tendrá en cuenta las metodologías implementadas para su clasificación según los criterios sugeridos por el “Protocolo de Degradación de Suelos y Tierras por Desertificación” (IGAC, IDEAM & MAVT, 2010), y su informes preliminares como el “Anexo 1 de la Elaboración de Métodos y Protocolos, para la evaluación, el seguimiento y monitoreo de los procesos de degradación del suelo por erosión, salinización y desertificación a nivel Nacional, Regional y Local” Carrillo, H. (2009).

Las variables de trabajo se analizarán por temas como se mencionó anteriormente y como se puede observar en la figura No. 5. De esta manera encontramos tres temas: Clima, Suelo y Uso del Suelo, este último no se considera agruparlo con el tema de suelo, debido a la gran importancia que representa para el análisis del presente trabajo, reflejando el actual impacto de las actividades antrópicas.

Los rangos de las variables que permitirán analizar cada uno de los temas se presentan a continuación:

Tabla 2. Rangos de clasificación de las variables del tema Clima.

CLASE	SÍMBOLO	VARIABLES		
		Precipitación (Índice aridez)	Temperatura	Zona Climática
Muy Alto	MA	0 a 0,2	> 26 C	Híper - Árido
Alto	A	0,2 a 0,5	24 - 26C	Árido
Moderado	M	0,5 a 0,6	22 - 24 C	Semiárido
Bajo	B	0,6 a 0,75	18 - 22 C	Húmedo Seco
Muy Bajo	MB	> 0,75	< 18 C	Húmedo
Zonas Urbanas	ZU	NO APLICA		

Fuente. El Autor

Los rangos de estas variables se conformaron conforme a los lineamientos del “Protocolo de Degradación de Suelos y Tierras por Desertificación” (IGAC, IDEAM & MAVT, 2010).

De esta manera la sensibilidad del tema clima se presenta como:

$$Sc = \sum(P, T, Zc)$$

Sc: Sensibilidad del tema Clima

P: Variable Precipitación

T: Variable Temperatura

Zc: Variable Zona Climática

Tabla 3. Rangos de clasificación de las variables del tema suelos.

CLASE	SÍMBOLO	VARIABLES		
		Unidades Cartográficas	Unidades Taxonómicas	Erosión (Grado)
Muy Alto	MA	Association: Lithic Ustorthents, Typic Ustropepts, Typic Ustorthents, Ustic Dystropepts, Lithic Troorthents, Lithic Dystropepts, Lithic Humitropepts	MRAg3, MWAg3, MWCf3, MWCg3, MQAg3, MQAf2, MQAg2	f - g
Alto	A	Typic Haplusterts, Udic Ustorthents	MWGe2p, MQMe2p	e
Moderado	M	Typic Haplusterts, Udic Ustorthents, Typic Dystropepts, Typic Troorthents	MWGd2p, MWGd1p, MQMd1p	d
Bajo	B	Typic Dystropepts, Typic Troorthents	MQMcp, PXEc2	c
Muy Bajo	MB	Vertic Ustropepts, Sodic Haplusterts, Fluventic Ustropepts, Typic Ustropepts	VWBa, VWCax, VWCa, VXCa	a - b
Zonas Urbanas	ZU	NO APLICA		

Fuente. El Autor

Para la clasificación del tema suelo se tiene en cuenta la información del EOT del municipio y la clasificación de unidades taxonómicas según el estudio de suelos del Tolima IGAC, (2009) y la clasificaciones propuestas por Carrillo (2009).

De esa manera la sensibilidad del tema suelo se presenta como:

$$Ss = \sum(Uc, Ut, E)$$

Ss: Sensibilidad del tema Suelo

Uc: Variable Unidades Cartográficas del suelo

Ut: Variable Unidades taxonómicas del suelo

E: Variable Erosión

La variable de uso del suelo, conserva una relación directa con la información de cobertura de la tierra según el EOT; y debido a la gran incidencia que tienen las actividades humanas en el proceso de desertificación, se considera que esta es variable aporta de manera significativa al modelo, razón esencial para que la información que se trabaja con esta variable, no se agrupara con ninguno de los temas anteriores y se maneja de manera independiente al mismo nivel de las otras temáticas.

Según la información del documento Diagnostico del Esquema de Ordenamiento del municipio, así como también de la información geográfica encontrada, la clasificación de esta variable se organizó en los rangos que se presentan a continuación:

Tabla 4. Rangos de clasificación variable uso del suelo.

CLASE	SÍMBOLO	USOS DEL SUELO
Muy Alto	MA	Pastoreo superintensivo e intensivo
Alto	A	Agricultura semimecanizada, Agricultura tradicional comercial
Moderado	M	Pastoreo extensivo
Bajo	B	Protección con pastoreo de especies menores, pastoreo superextensivo
Muy Bajo	MB	Protección - conservación
Zonas Urbanas	ZU	Vivienda, comercio, institucional y servicios

Fuente. El Autor

Una vez establecidos los rangos en cada una de las variables, se procederá a realizar las operaciones de análisis espacial por tema, según lo contemplado en la figura No.6.

Como operación inicial se realiza la unión de las variables por tema en el caso de Clima y Suelo, de manera que tenemos como resultado una capa que contiene en sus atributos las variables que comprende cada temática para la zona de estudio.

Posteriormente se realiza una operación de selección por atributos donde agrupamos los valores que nos identifican las clases según los rangos expuestos en las tablas No. 2, 3 y 4 de manera que nos permita obtener una nueva capa por cada temática clasificada cualitativamente según la escala de valores propuesta evaluando la sensibilidad a la desertificación en cada tema.

Esta nueva escala de valores tendrá las mismas clases presentadas en la tabla No.1 con sus respectivos colores como guía.

En el caso de las capas resultantes de la sensibilidad para los temas suelo y clima procedemos a realizar una operación de unión y de esta manera obtener la susceptibilidad a la desertificación.

Así la susceptibilidad a la desertificación se presenta como:

$$S_d = \sum(S_c, S_s, )$$

S<sub>d</sub>: Susceptibilidad a la desertificación

S<sub>c</sub>: Sensibilidad del tema Clima

S<sub>s</sub>: Sensibilidad del tema Suelo

A continuación y para su clasificación se tiene en cuenta la siguiente tabla de colores que permite identificar el nuevo rango que le aplica a cada elemento de esta nueva capa según su color:

Tabla 5. Tabla de análisis para la agrupación de resultados.

	MA	A	M	B	MB
MA					
A					
M					
B					
MB					
ZU					

Fuente. El Autor

De igual forma repetimos el procedimiento de unir este nuevo resultado (susceptibilidad a la desertificación) con la variable de uso del suelo y tener como resultado el mapa de riesgo de desertificación, esta capa final se presenta en los colores definidos en la matriz de decisión presentada en la Tabla No.5 y las clases se agrupan según la tabla No.1

Por lo tanto el resultado es el riesgo de desertificación que se expresa como:

$$Rd = \sum(Sd, Us, )$$

Rd: Riesgo de desertificación

Sd: Susceptibilidad a la desertificación

Us: Usos del suelo

### **3.2.4. Fase 4: Generación y análisis de resultados**

#### **3.2.4.1. Generación de resultados**

En esta fase se mostrarán los resultados generados permitiendo la evaluación de la metodología propuesta para la zona de estudio conforme al objetivo planteado y la validación de su relación con resultados de estudios similares desarrollados a escalas nacionales o regionales.

#### **3.2.4.2. Análisis de resultado**

Se realizará un análisis de resultados para cada uno de los procedimientos y su respectiva comparación con los resultados obtenidos a mayores escalas, por las entidades oficiales en el país.

#### **3.2.4.3. Recomendaciones**

Se brindaran las recomendaciones pertinentes, como resultado de la investigación y del desarrollo del proyecto, como apoyo a subsanar falencias en la implementación de este tipo de estudios.

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. RESULTADOS OBTENIDOS

#### 4.1.1. Variables esenciales para la identificación de la desertificación.

A partir del modelo planteado en el Protocolo de Degradación de Suelos y Tierras por Desertificación” (IGAC, IDEAM & MAVT, 2010), y de la metodología utilizada por CDE/WOCAT & FAO/LADA (2007) para la generación de mapas de la degradación de la tierra, así como de la revisión de casos implementados en países como Argentina por el proyecto LADA de UNCCD, se logró consolidar un mínimo de variables requeridas para los modelos implementados en la identificación del proceso de desertificación y/o el riesgo de presencia de este.

Estas variables se encuentran agrupadas por temática, y adicionalmente se contemplan los respectivos indicadores (atributos) que debe tener cada una de ellas para lograr realizar el respectivo análisis de riesgo, en la siguiente tabla se muestran las variables esenciales de los componentes físico biótico y social según los protocolos.

Tabla 6. Variables esenciales para la evaluación de la desertificación.

TEMA	VARIABLE	INDICADOR
Clima	Precipitación	Índice de aridez
		Distribución de lluvias
	Temperatura	Distribución de Temperatura
		Índice térmico
Zonas Climáticas	Clases de zonas climáticas	
Suelo	Erosión	Grado de erosión
	Unidades cartográficas de suelos	Clases de unidades cartográficas de suelos

TEMA	VARIABLE	INDICADOR
	Unidades Taxonómicas de suelos	Clases de Suelos
	Usos del suelo	Clases de uso del suelo
Social	Manejo del suelo	Prácticas inapropiadas (Quema, tala, pastoreo extensivo)

Fuente. El Autor

Con el fin de aplicar la metodología propuesta en la zona de estudio no se incluyó la variable geomorfología ya que la información suministrada por esta variable se encuentra disponible en la variable de unidades cartográficas, tampoco se incluyó la variable de cobertura debido a su relación directa con la variable de usos del suelo con el fin de no duplicar información al momento de realizar las valoraciones propuestas.

La obtención de la información socioeconómica y cultural según el protocolo y la metodología planteada por el proyecto LADA se recolecta mediante encuestas in situ y con apoyo de la información documental local.

#### **4.1.2. Variables de trabajo en caso de estudio.**

Al realizar la revisión de la información existente se obtuvo que la información suministrada por la administración del Municipio de Alpujarra, correspondiente al EOT (2003), contiene información de la mayoría de las variables esenciales (a escala 1:25.000) exceptuando las unidades taxonómicas del suelo y la información social.

A continuación se presenta una tabla con la relación de las variables requeridas para la evaluación objeto del presente proyecto y las encontradas en la información del EOT del municipio seleccionado como área de estudio:

Tabla 7. Variables de trabajo en zona de estudio.

TEMA	VARIABLE	INDICADOR
Clima	Precipitación	Índice de aridez
		Distribución de lluvias
	Temperatura	Distribución de Temperatura
		Índice térmico
Zonas Climáticas	Clases de zonas climáticas	
Suelo	Erosión	Grado de erosión
	Unidades cartográficas de suelos	Clases de unidades cartográficas de suelos
	*Unidades Taxonómicas de suelos	Clases de Suelos
	Usos del suelo	Clases de uso del suelo

Fuente. El Autor

\*Sin información en el EOT

Para subsanar la información de las unidades taxonómicas se optó por buscar información secundaria, debido a la importancia que representa la información de esta variable para el desarrollo del estudio; encontrándose información a escala 1:100.000 levantada por el IGAC en el año 2004, en el desarrollo del estudio de suelos del Departamento del Tolima, de esta manera se realizaron ajustes en la delimitación de las unidades mínimas para su aplicación a la escala de trabajo (1:25.000).

En cuanto a la información social (malas prácticas de manejo), se buscó la información existente en el documento del EOT municipal y de otras fuentes

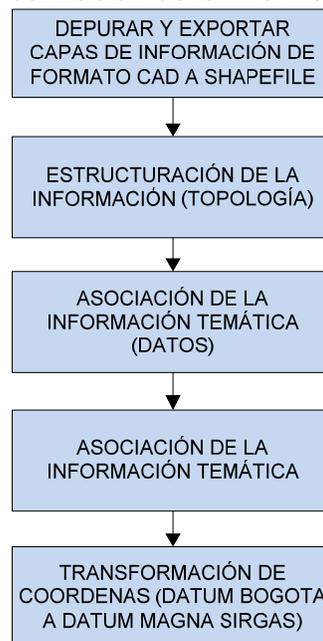
secundarias como por ejemplo informes del Departamento Nacional de Estadística DANE, reportes de la CAM, etc.; sin embargo la información era generalizada para todo el municipio, por lo que no se logró tener un mayor nivel de detalle, motivo que impidió espacializarla ya que sus datos solo hacían referencia a todo el municipio, por lo cual se excluye esta variable del proceso.

#### 4.1.3. Depuración y estructuración de la información.

La información geográfica del EOT suministrada por el municipio se encuentra a escala 1:25.000 en archivos .DWG y en coordenadas planas origen Bogotá, datum Bogotá.

Para el desarrollo del presente trabajo se adelantaron los siguientes procedimientos cartográficos con el fin de asegurar un óptimo manejo de la información en la aplicación de la metodología propuesta:

Figura 7. Estandarización de la información geográfica.



Fuente. El Autor

Estos procesos fueron desarrollados para todas las variables y para cada tema, teniendo como resultado las variables del área de estudio en formato shapefile con sus respectivos atributos y bajo el sistema de coordenadas Magna – Sirgas origen Central. Estos procedimientos se adelantaron en el software ArcGis de ESRI. (Los resultados se pueden observar en los mapas del capítulo de resultados)

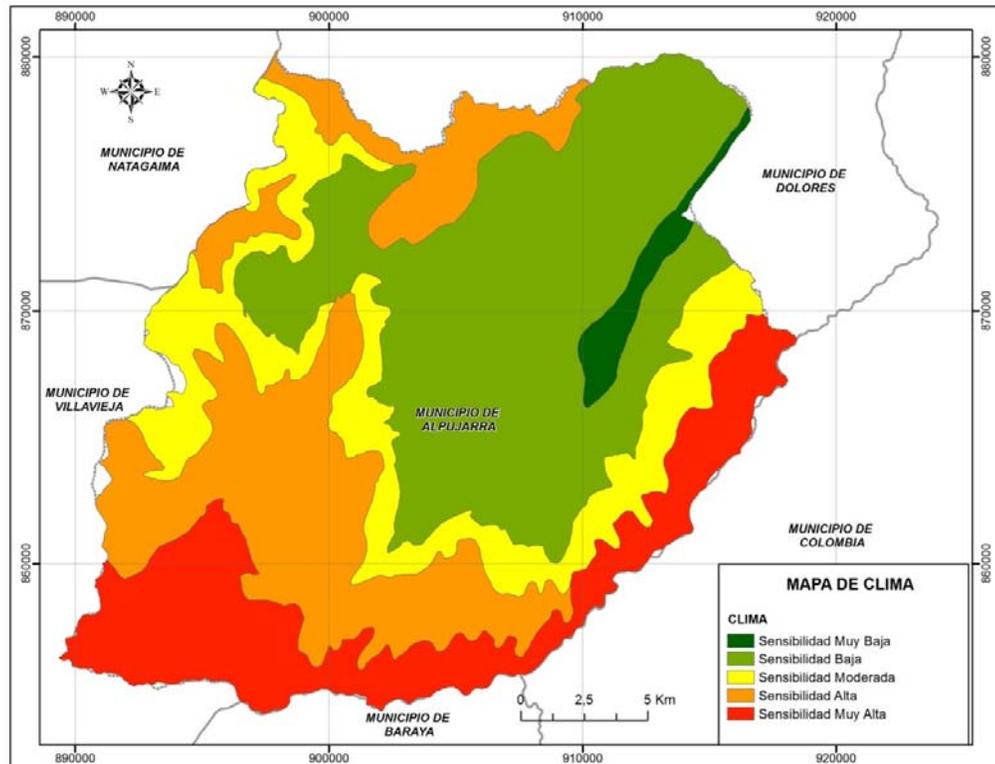
#### **4.1.4. Análisis Espacial y generación de resultados.**

Para la identificación de las zonas en riesgo de desertificación en el municipio de Alpujarra, de acuerdo a la metodología propuesta se consolidó la información de las variables por tema (exceptuando el uso del suelo), como lo plantea el protocolo de desertificación y conforme al modelo de análisis planteado se obtuvieron las capas de sensibilidad a la desertificación para cada temática, posteriormente se incluyó el uso del suelo generando como resultado final el mapa de riesgo al proceso de desertificación.

El primer tema consolidado fue el del clima, el cual contemplo las variables de precipitación, temperatura y zonas climáticas obteniendo el resultado la zonificación climática según estas tres variables, que permite identificar las zonas que por sus cualidades son susceptibles del fenómeno de la desertificación.

A esta capa según sus condiciones para facilitar el proceso de desertificación se le clasificó en grados alto, medio y bajo como se presenta en la Figura No.8

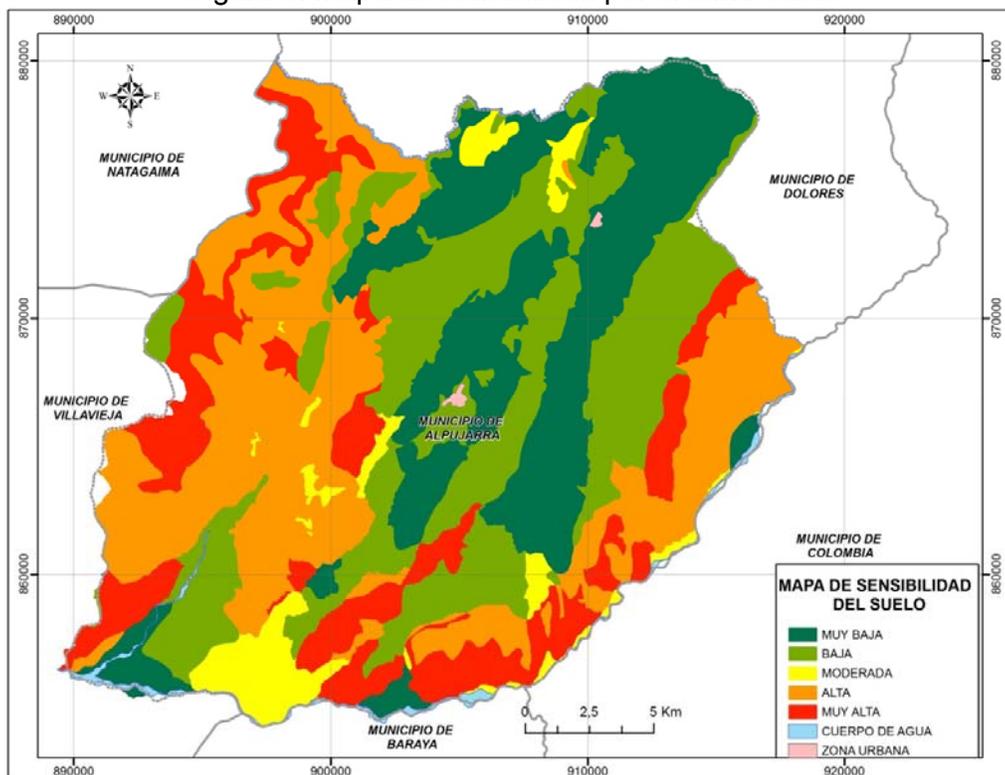
Figura 8. Mapa de sensibilidad por el tema clima



Fuente: El Autor

Posteriormente se generó el mapa de la temática de suelos, donde se contemplaban variables como las unidades cartográficas del suelo, las unidades taxonómicas del suelo y la erosión; determinando la sensibilidad del suelo para presentar el proceso de desertificación en grados muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto como se presenta en la Figura No. 9.

Figura 9. Mapa de sensibilidad por el tema Suelo



Fuente: El Autor

Con los análisis de estas dos temáticas se generó el mapa de susceptibilidad a la desertificación del área objeto de estudio, donde se realizó nuevamente una clasificación de la siguiente manera: susceptibilidad muy baja (como la clase de menor rango que no presenta aún ningún nivel de susceptibilidad), susceptibilidad baja, susceptibilidad moderada, susceptibilidad moderada alta y susceptibilidad moderada muy alta.

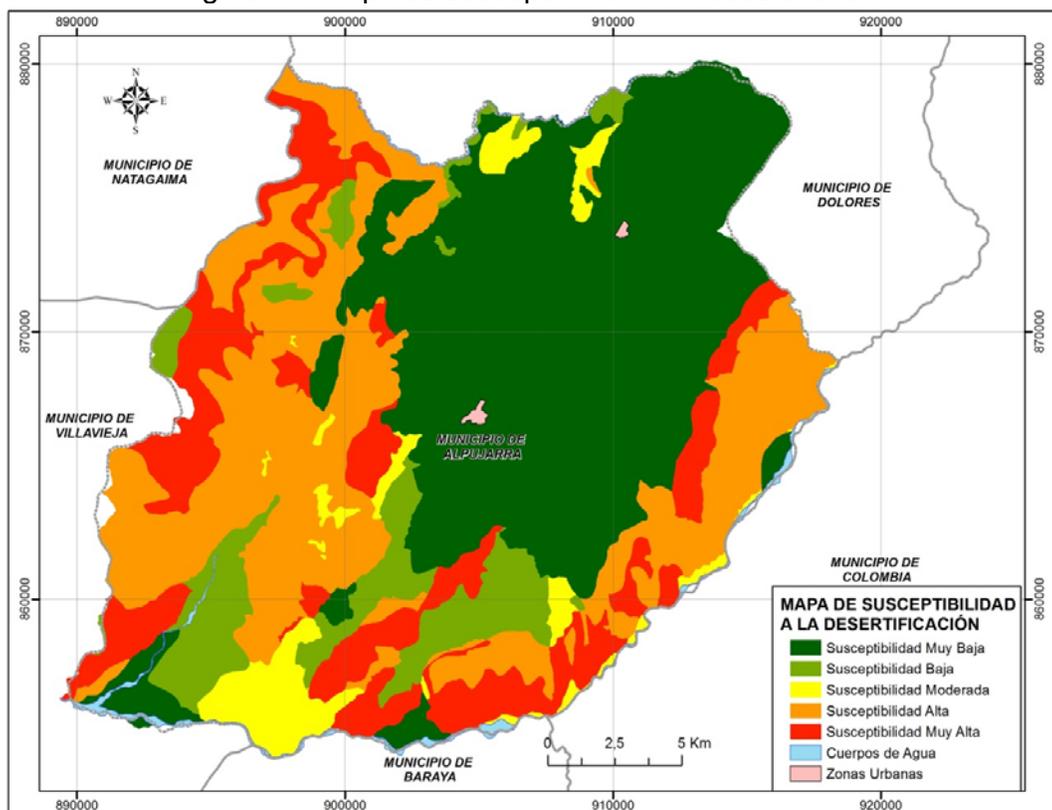
El resultado en porcentaje del área del municipio para cada clase se relaciona en la Tabla No. y su espacialización en la Figura No. 10.

Tabla 8. Susceptibilidad a la desertificación. Municipio de Alpujarra (Tolima).

SUSCEPTIBILIDAD A LA DESERTIFICACIÓN	
SENSIBILIDAD	%
Muy Alta	15,46%
Alta	28,07%
Moderada	5,07%
Baja	9,23%
Susceptibles	41,02%
Cuerpos de Agua (CA)	1,02%
Zonas Urbanas (ZU)	0,13%
<b>TOTAL</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: El Autor.

Figura 10. Mapa de susceptibilidad a la desertificación

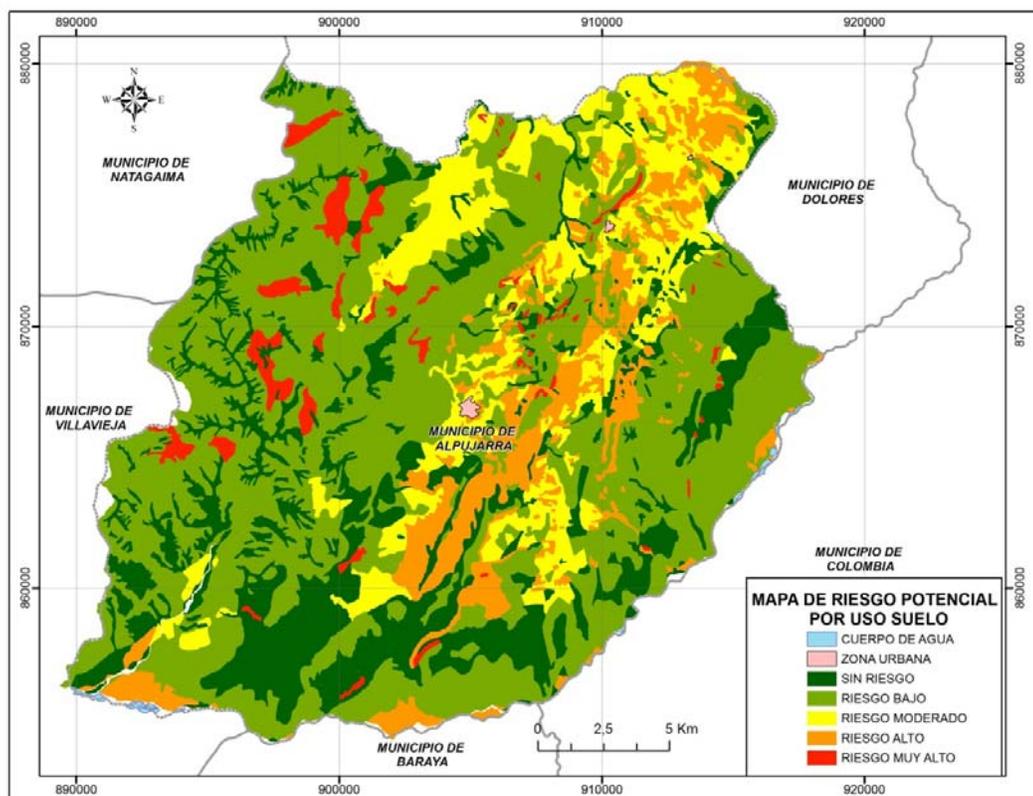


Fuente: El Autor

A esta capa resultado se le sumó el uso del suelo, teniendo en cuenta que la actividad antrópica es un factor de gran influencia en el avance del proceso de desertificación, según la definición de adoptada por UNCCD, el uso del suelo

fue de igual manera clasificado según su intervención y el grado de riesgo que cada actividad representa para potencializar la desertificación como se ilustra en la Figura No. 11.

Figura 11. Mapa de riesgo por uso del suelo



Fuente: El Autor

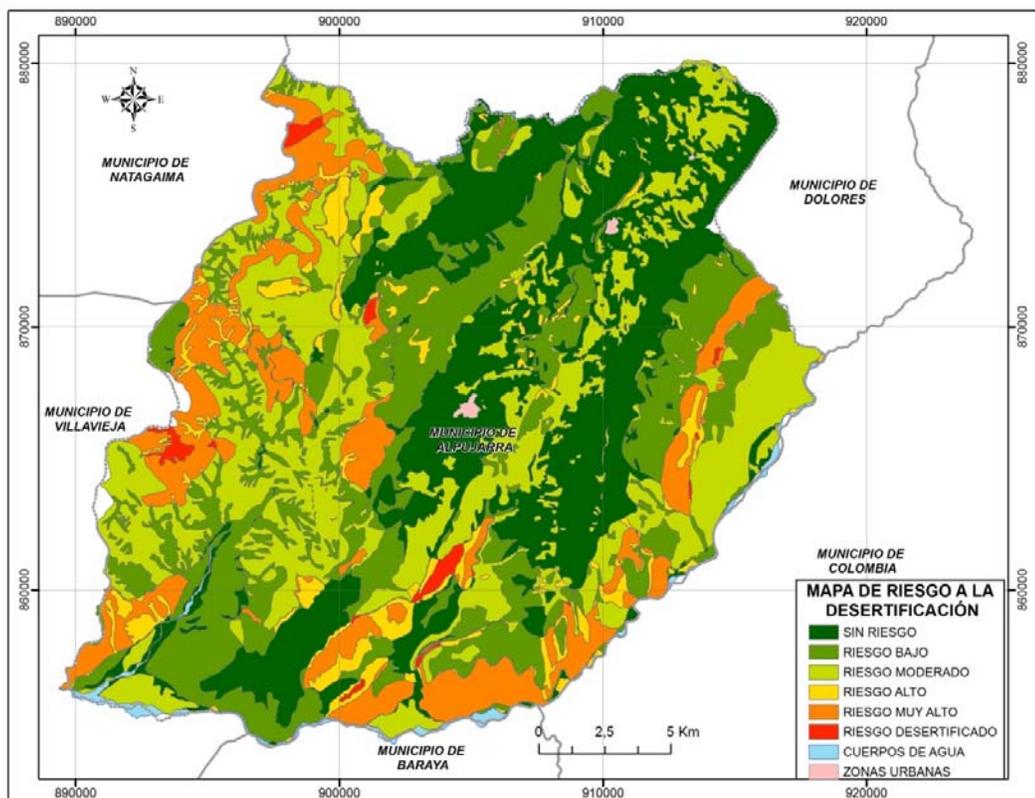
Finalmente se unifican los resultados obtenidos del mapa de susceptibilidad a la desertificación, con el mapa de riesgo potencial por uso del suelo para obtener el mapa final de zonas en riesgo de desertificación en el municipio de Alpujarra Tolima. Los resultados se pueden observar en la Tabla No. 9 y la respectiva Figura No. 12.

Tabla 9. Zonas en Riesgo de desertificación. Municipio de Alpujarra (Tolima).

RIESGO DE DESERTIFICACIÓN	
CLASE	%
Áreas Desertificadas	0,89%
Riesgo Muy Alto	12,37%
Riesgo Alto	4,74%
Riesgo Moderado	27,62%
Riesgo Bajo	25,99%
Sin Riesgo	27,17%
Cuerpos de Agua (CA)	1,08%
Zonas Urbanas (ZU)	0,14%
<b>TOTAL</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: El Autor

Figura 12. Mapa de riesgo a la desertificación



Fuente: El Autor

## **4.2. ANALISIS DE RESULTADOS**

### **4.2.1. Panorama Internacional, Nacional y Regional.**

La lucha contra la desertificación es de interés internacional, así lo demuestran las acciones y políticas generadas frente al tema como la creación de la Convención de la Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía (UNCCD) y la vinculación de 195 países del mundo. Esta convención cuenta con grandes avances en el establecimiento de directrices para guiar a los países miembros de esta convención en su lucha contra la desertificación, como lo fue el proyecto LADA.

Colombia ha presentado tres informes a UNCCD sobre su avance en la lucha contra la desertificación; además presento el Plan de Acción Nacional de Lucha Contra La Desertificación y la Sequía en Colombia y estableció los protocolos de degradación de suelos por erosión, salinización y desertificación; lo que muestra la preocupación del país frente a este fenómeno y su voluntad política para mitigarlo.

A nivel regional (Departamentos), son las corporaciones autónomas las autoridades ambientales que han desarrollado algunos estudios según sus necesidades. Es por esto que los principales resultados sobre la caracterización e identificación de zonas desertificadas lo han desarrollado corporaciones que presentan este fenómeno en su territorio. Es así como la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) ha realizado esfuerzos por realizar la caracterización del desierto de la Tatacoa, siguiendo las metodologías nacionales, pero a escala regional, contando con el apoyo de la Universidad Surcolombiana en el desarrollo de la "Formulación del plan de manejo y

declaratoria como área natural protegida del desierto de la Tatacoa” (Universidad Surcolombiana, 2006). De igual manera la CAM ha tenido en cuenta esta región en sus Planes de Acción Trienal (PAT), principal mente el del periodo 2007-2009, donde se califica la zona de desierto como la “Ecorregión Desierto de la Tatacoa” (CAM, 2007).

En otras regiones encontramos esfuerzos en el tema como en el caso de La Corporación Autónoma Regional de la Guajira (CORPOGUAJIRA), con la implementación del “Plan Regional de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía del Departamento de la Guajira para un horizonte a 15 años” (CORPOGUAJIRA & CONIF, 2012), el cual tiene resultados a escala regional, y son esenciales para el departamento de la Guajira ya que este presenta el mayor porcentaje afectación por este fenómeno en el país y su proyecciones no son alentadoras; “los ecosistemas secos experimentarían una agudización de sus procesos de desertificación de un 13.2% a un 42.2%”. (CORPOGUAJIRA, 2012).

También la Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA), ha comenzado a realizar trabajos articuladamente con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –CORPOICA en la zonificación y formulación de planes de ordenamiento sobre zonas secas en el departamento del Tolima; pero lo está realizando sobre las zonas ya afectadas con desertificación y apenas tiene en etapa de formulación los planes de ordenamiento ambiental que incluyen los municipios y zonas en riesgo de desertificación; lo cual genera una

preocupación por la falta de continuidad en las políticas regionales y por ende en las locales.

#### **4.2.2. Panorama Local**

Una vez revisado el estado del país según la documentación consultada, se encuentran que la mayoría de los esfuerzos se centran sobre zonas ya afectadas por el problema de la desertificación; Además la mayoría de los esfuerzos para la identificación y mitigación de la desertificación se han realizado a escala Nacional y Regional, pero muy poco se han tenido en cuenta estos resultados, así como su implementación a la hora de realizar la ordenación del territorio y la planificación de las programas y proyectos por parte de las alcaldías municipales como entes administrativos locales.

Los municipios como autoridades locales no han tomado medidas articuladas para mitigar estas problemáticas, en algunos casos por déficit de información, por falta de profesionales calificados o por falta de herramientas tecnológicas, pero principalmente por falta de continuidad en las políticas de ordenamiento territorial y protección medioambiental.

Para lograr esto es necesario que la administración municipal defina políticas, formule planes, programas y proyectos para el ordenamiento territorial en todas sus dimensiones, como señala el artículo 6 de la Ley 388 de 1997 (Ley de desarrollo territorial), con el fin de enfocar sus esfuerzos al desarrollo social y económico de manera sostenible.

### **4.2.3. Principales variables utilizadas en Colombia.**

Partiendo de la definición de desertificación planteada por UNCCD, la cual limita el proceso a “tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas” (UNCCD, 1994), el IDEAM adoptó un modelo de zonificación para la identificación de ecosistemas secos (IDEAM, 2003), enfocándose principalmente en las variables climáticas, ya que son estas las que permiten identificar la ubicación de este tipo de ecosistemas.

Este modelo inicial nos muestra tres variables necesarias en el proceso, el clima, la cobertura vegetal y el suelo; pero además de esto se debe tener en cuenta la actividad antrópica.

Posteriormente en el “Protocolo de Degradación de Suelos y Tierras por Desertificación” (IGAC, IDEAM & MAVT, 2010), se desarrolló un modelo conceptual y metodológico de estudio de la degradación por desertificación, mediante fases; el cual muestra una amplia cantidad de variables a tener en cuenta al momento de identificar, valorar, analizar y monitorear la desertificación.

Por otro lado también se encuentran la metodología establecida por el proyecto LADA, en diferentes países. Al observar las diferencias entre las metodologías, se logró obtener un compilado de variables que son esenciales para llevar a cabo la ejecución de cualquier metodología.

Estas variables comienzan a identificarse desde la definición de desertificación adoptada por UNCCD. En esta se identifica el clima (para determinar las zonas áridas), el suelo por ser el elemento sobre el cual se desarrolla este fenómeno

y finalmente la actividad antrópica como principal agente externo generador y que agiliza del proceso de desertificación.

Dentro del clima se identificó como variables comunes para la determinación de zonas áridas y secas, la precipitación, la temperatura y las zonas climáticas.

En el tema de suelos, son comunes en las metodologías las variables de erosión, unidades cartográficas de suelos (las cuales contemplan características fisiográficas y de paisaje, por lo tanto contienen datos de la geomorfología); así como también las unidades Taxonómicas de los suelos, son parte fundamental en la identificación de la vulnerabilidad a los procesos de degradación del suelo y a la desertificación, ya que nos transmiten la calidad de estos, su capacidad, resiliencia, su profundidad entre otras características.

El uso del suelo es otra de las variables que se considera importante dentro de las metodologías, debido a que este permite identificar la pertinencia de las actividades desarrolladas por las comunidades según las características de los suelos donde las realizan. Adicional al uso comúnmente se observó que se usa la cobertura y algunos datos de fauna, pero al revisar al detalle se logró evidenciar que esta se encuentra también asociada dentro del uso del suelo; que generalmente la capa de cobertura es idéntica en todos los casos a la de uso del suelo, evento que es coherente por las actividades antrópicas.

Otras variables que son comunes en las metodologías son las del tema social, principalmente lo referente a prácticas inapropiadas del manejo de los suelos como lo son la quema, tala de árboles y el pastoreo extensivo sobre suelos poco aptos para esta práctica. Aunque este tipo de información conlleva una

apreciación personal por parte de miembros de las comunidades y que se recolecta mediante encuestas en el área de estudio, es valiosa al identificar y asociar los riegos de este fenómeno en determinadas zonas.

A raíz de estos argumentos se determinó buscar la información correspondiente en el área de estudio, en este caso el municipio de Alpujarra Tolima.

#### **4.2.4. Existencia y calidad de la información en la zona de estudio.**

Una de las grandes deficiencias para la ordenación del territorio a nivel local en Colombia es la falta de información o falencias en esta al momento de realizar los planes, programas o proyectos en los respectivos municipios.

Las primeras acciones en la ejecución de cualquier proyecto se enfocan en la obtención de la información necesaria para su desarrollo. Es así como en este proyecto se inició con la indagación de existencia de información geográfica y documental en las corporaciones autónomas regionales y posteriormente en los municipios como entidades locales.

Las corporaciones manifestaron que no tenían información geográfica fuente en la zonas que se consultaban, que solo se contaba con los documentos finales, debido a que los insumos habían sido administrados por consultores quienes finalmente no entregaron estos. Esto demuestra una gran falencia al momento de desarrollar proyectos por parte de estas entidades y no tener una política clara para mantener su información para futuros análisis.

Sin embargó en la CAM se obtuvo información de los EOT de los municipios consultados del departamento del Huila y la información del Municipio de Alpujarra (Tolima) fue suministrada directamente por la alcaldía municipal.

Al revisar la información suministrada, varios de los municipios fueron descartados por no tener una línea base de la información temática completa, o como en algunos casos ni siquiera contar con la espacialización de las temáticas tratadas en el diagnóstico del EOT.

Se enfocó los esfuerzos sobre las zonas que tenían mayor cantidad y disponibilidad de información; argumento de peso al seleccionar el municipio de Alpujarra como zona de estudio y lograr el objetivo propuesto.

El municipio de Alpujarra, cuenta con información de una calidad aceptable para adelantar estos procesos, pero fue necesario realizar actividades adicionales como transformación de coordenadas y estructuración de la información. Estas acciones son un común a tener en cuenta a la hora de desarrollar proyectos a nivel local en Colombia, debido a diversos factores como son el cambio de datum que se dio oficialmente en el país por parte del IGAC en el año 2005 y la falta de estándares en la producción de la información geográfica.

#### **4.2.5. Adecuación de metodologías Nacionales al nivel local.**

La implementación de directrices y/o metodologías para realizar procesos cartográficos de escalas nacionales o regionales al nivel local, presenta grandes retos, principalmente por falencias como la falta de información, diferencias en los estándares de información cartográfica y la pertinencia de las escalas, por lo que se deben hacer mayores esfuerzos para obtener los resultados esperados.

Estos detalles se deben trabajar con mucho cuidado, para no desviar los enfoques metodológicos iniciales, pero es un buen lineamiento para articular las políticas nacionales, regionales y locales.

Ante esto el país debe hacer bastantes esfuerzos, no solamente en esta área de estudio sino en muchas otras, para que se vea reflejada las políticas en la organización del territorio en todos los niveles.

#### **4.2.6. Herramientas SIG y Análisis espacial**

Con aplicaciones de casos concretos como el presente proyecto se evidencian las grandes bondades de los sistemas de información geográfica en el análisis espacial y la ordenación del territorio.

Este tipo de estudios debido a las diferencias existentes entre la información recopilada y el objeto de estudio, requieren del apoyo de muchas herramientas de los sistemas de información geográfica; Es así como fue necesario recurrir a herramientas de migración, edición, transformación de coordenadas y funciones de análisis básicas y avanzadas para obtener el producto final objetivo.

Obtener información espacial con sus respectivos atributos es algo que permite potencializar los análisis de la información, volviéndose más dinámica, manejable, actualizable y sobre todo legible para los diferentes actores en los procesos de planeación y toma de decisiones sobre la organización del territorio.

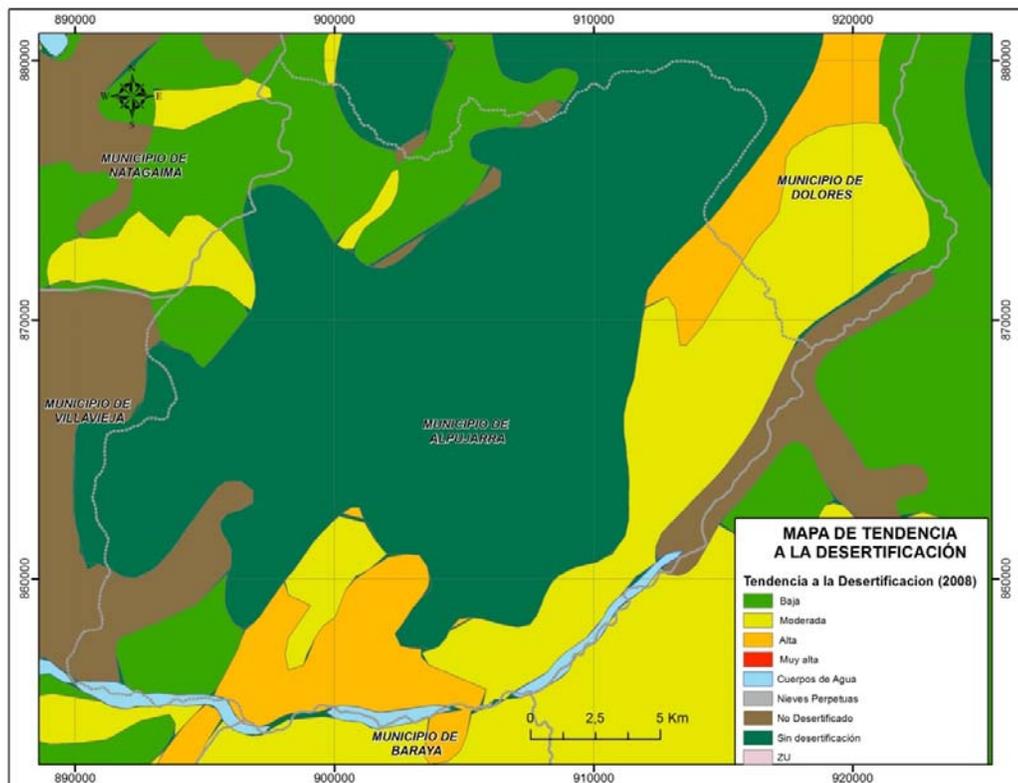
#### **4.2.7. Comparación de resultados**

Uno de los principales objetivos era comparar los resultados de orden nacional y regional con los obtenidos localmente, para observar la pertinencia de la

aplicación de estos procesos y de ser así el gran apoyo que puede brindar los resultados a escalas locales para los encargados de la toma de decisiones a este nivel, con diferencia de la información nacional.

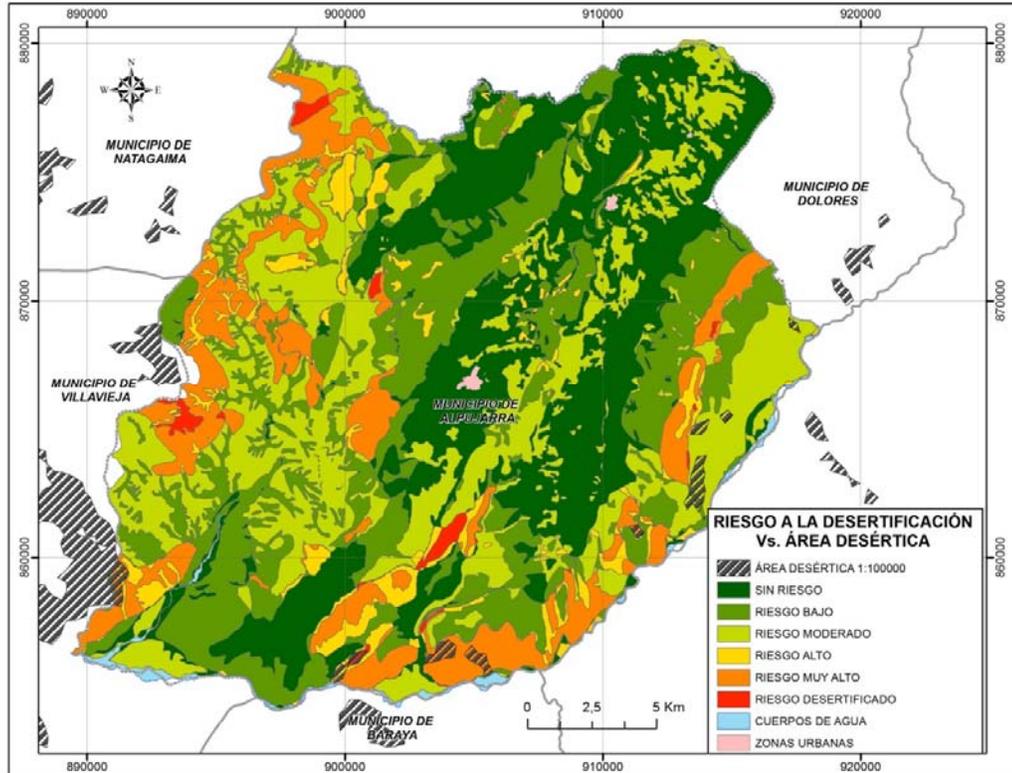
Para mostrar un poco estas diferencias, a continuación se mostrará un mapa con la información nacional de la tendencia a la desertificación y posteriormente un mapa con las zonas identificadas como desérticas a escala regional sobre el mapa de riesgo obtenido del presente estudio.

Figura 13. Mapa nacional de tendencia a la desertificación



Fuente: IDEAM, 2008. Escala 1:500.000

Figura 14. Mapa de riesgo a la desertificación Vs. Áreas Desérticas



Fuente: El Autor.

Como se observa en el primer mapa el nivel de generalización de la información hace que sea poco efectivo tomar una decisión a nivel local; en este caso se observa que no existen zonas con problemas de desertificación en el municipio y que además gran parte de este, más de un 60% no presenta tendencia a este fenómeno. No obstante cuando comparamos con nuestros resultados se puede observar que en municipio ya existe un pequeño porcentaje de tierra desertificada, y que además tan solo el 27% de este no tiene problemas de este tipo.

De igual manera en el segundo mapa aunque el nivel de detalle mejora respecto al anterior, se observa que las áreas desérticas identificadas por el IGAC a escala 1:100000 no reflejan totalmente las zonas con alto grado de riesgo de

desertificación ya que permanece el grado de generalización de la información fácilmente identificado en el trazo de los polígonos; se puede evidenciar que existen áreas identificadas como tierras desertificadas en zonas donde a pesar de que este proceso tiene un alto riesgo, no se evidencia aún su presencia.

Esto muestra las bondades de tener una escala de trabajo adecuada y acorde con los instrumentos de planificación del territorio. Pero se debe tener en cuenta la calidad de la información local, ya que si esta no tiene buenos parámetros de calidad, no se encuentra completa, o es de poca precisión, no se podrán realizar análisis adecuados y se pueden tener incluso resultados incoherentes o inconsistentes.

Los municipios, deben hacer mayores esfuerzos en su articulación con las políticas nacionales y regionales, así como también deben procurar tener productos completos respecto a sus objetivos de desarrollo y no limitarse a cumplir con la normatividad.

#### **4.3. RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS**

La principal recomendación es que las administraciones municipales, deben aunar esfuerzos y cuando tiene la obligación y/o posibilidad de levantar información de mayor calidad sobre sus municipios lo realicen de manera ordenada y teniendo en cuenta las entidades de orden nacional y regional las cuales ya pueden tener directrices claras que les permitirán trabajar articuladamente.

Como el desierto se encuentra en el departamento del Huila, esta ha sido manejada por la Corporación autónoma del Alto Magdalena (CAM); pero esta corporación tiene alcance operativo solo sobre los municipios del departamento del Huila, de esta manera se ha descuidado el tema sobre las zonas correspondientes a los municipios del Tolima como ejemplo la zona de estudio, los cuales son competencia de la Corporación Autónoma del Tolima (CORTOLIMA); esto se evidencia en la falta de información sobre el tema en los municipios y falta de los planes de manejo conjuntos, motivo por el cual se recomienda que los resultados de las diferentes investigaciones se manejen de manera conjunta por parte de las corporaciones, para que puedan brindar un apoyo más articulado a los municipios.

## 5. CONCLUSIONES

- De la literatura revisada, sobre el tema de desertificación, así como de sus diferentes metodologías de aplicación se ha podido identificar que las principales variables que influyen en el proceso de desertificación y que se trabajan son la precipitación, la temperatura, las zonas climáticas, la erosión, las unidades cartográficas y taxonómicas del suelo, el uso del suelo y la actividad antrópica.
- Las variables usadas en la metodología implementada en Colombia, mediante el protocolo de desertificación son aplicables a escalas locales; sin embargo se presentan deficiencias de información principalmente en los estudios de suelos detallados, por lo que las administraciones municipales deberán hacer los esfuerzos necesarios para obtener este tipo de información al nivel de detalle aplicable para el municipio y así lograr tener resultados más precisos en la determinación de las zonas en riesgo al proceso de desertificación y a otros procesos de degradación que puedan afectar a sus territorios.
- No es necesario generar nuevos modelos de análisis espacial para la identificación de la desertificación y sus zonas de riesgo con la información existente en los municipios. Se debe ajustar los existentes de acuerdo a la disponibilidad de información del municipio, donde se identifica que las mayores deficiencias se encuentran en la información y no en los modelos de análisis.
- Las entidades locales no pueden utilizar de manera confiable la información existente en sus municipios para la toma de decisiones dado que existen

bastantes deficiencias, principalmente en la falta de información y en la completitud de la misma.

- La aplicación de herramientas SIG al nivel municipal brinda grandes oportunidades para la toma de decisiones oportunas y una buena planeación y organización del territorio.
- En la actualidad se cuenta con varios software para el manejo de la información geográfica, principalmente herramientas de software libre que le permiten a las autoridades municipales tener el manejo de esta información a su alcance; pero se considera que se debe generar más cultura a nivel local en la importancia de tener la información geográfica actualizada y disponer de personal con conocimientos en el manejo de la misma.

## 6. REFERENCIAS

European Commission, European soil bureau network. (2005). *Soil atlas of european*. Luxembourg: Office for official publications of the European Communities, 128, doi: LB-37-01-744-EN-C.

Carrillo, H. (2009). *Anexo 1 de la elaboración de métodos y protocolos, para la evaluación, el seguimiento y monitoreo de los procesos de degradación del suelo por erosión, salinización y desertificación a nivel nacional, regional y local. Informe de avance IDEAM*. Manuscrito no publicado, IDEAM, Bogotá, Colombia.

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM. (2007). *Plan de acción trienal 2007-2009*. Neiva, Colombia.

Corporación Autónoma Regional del Cesar CORPOCESAR & Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2004). *Plan de acción regional (PAR) para la lucha contra la desertificación y la sequía del departamento del Cesar, con énfasis en la región del río Cesar*. Convenio 172/2004. Bogotá D.C, Colombia.

Corporación Autónoma Regional de la Guajira CORPOGUAJIRA. & Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal CONIF (2012). *Plan regional de lucha contra la desertificación y la sequía del departamento de la Guajira para un horizonte a 15 años*. Riohacha, Colombia.

Corporación Autónoma Regional de la Guajira CORPOGUAJIRA. (2012). *Plan de acción trienal 2012-2015*. Riohacha, Colombia.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Dirección de Ecosistemas. (2005). *Plan de acción nacional de lucha contra la desertificación y la sequía en Colombia*. Bogotá DC, Colombia.

Universidad Surcolombiana, Facultad de Ingeniería. (2006). *Formulación del plan de Manejo y declaratoria como área natural protegida del desierto de la Tatacoa*, (Vol. 01, 02 y 03). Neiva, Colombia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, (2004). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras, departamento de Tolima*. Bogotá DC, Colombia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT (2010). *Protocolo de degradación de suelos y tierras por desertificación*. Bogotá DC, Colombia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT (2010). *Protocolo de degradación de suelos y tierras por erosión*. Bogotá DC, Colombia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT (2010). *Protocolo de degradación de suelos y tierras por salinización*. Bogotá DC, Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2003). *Elementos de diagnóstico y recomendaciones de acción para ser incluidos en el plan nacional de acción en la lucha contra la desertificación y manejo de ecosistemas de zonas secas en Colombia. PAN, Fase 1*. Bogotá DC, Colombia: Autor. Recuperado de [https://www.siac.gov.co/documentos/DOC\\_Portal/DOC\\_Suelo/141210\\_Lineam\\_Diag\\_PAN\\_%20IDEAM.pdf](https://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Suelo/141210_Lineam_Diag_PAN_%20IDEAM.pdf)

Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.

López, R. (2002). *Degradación del Suelo: Causas, proceso, evaluación e investigación*. Mérida, Venezuela: CIDIAT.

López B, F. (1994). *Degradación del suelo ¿fatalidad climática o mala gestión humana? Hacia una gestión sostenible del recurso en el contexto mediterráneo*. Papeles de Geografía, n°20, págs. 49-64.

Labrador M, J. (2001). *La materia orgánica en los agrosistemas: aproximación al conocimiento de la dinámica, la gestión y la reutilización de la materia orgánica en los agrosistemas*. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa.

Martínez, Y. (2000). Artículo los sistemas de información geográfica. Bogotá D.C.: Divulgación académica Universidad Distrital.

Naciones Unidas. (1994). *Convención de las naciones unidas de lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África*. Naciones Unidas UNCCD. París, Francia.

UNCCD. (2013). *11ª Sesión de la conferencia de las partes convención de las naciones unidas de lucha contra la desertificación*. Recuperado de <http://www.unccd.int/en/Pages/default.aspx>

CONGRESO DE LA REPUBLICA. *Ley 388 de 1997. Ley de desarrollo territorial*, Bogotá D.C. 1997

FAO, (1996). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 1996*. ISBN 92-5-303858-6. Roma (Italia). Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/003/w1358s/w1358s00.htm>

FAO, (1996). *Cumbre mundial sobre la alimentación. 13-17 de Noviembre de 1996*. Roma (Italia). Recuperado de 2013 de <http://www.fao.org>

FAO, (1998). *Base de referencia para los suelos del mundo*. Roma (Italia).

Recuperado de <http://www.fao.org>

FAO, (2000). ). *Evaluación de la degradación de tierras en zonas áridas*. Roma

(Italia). Recuperado de <http://www.fao.org>

FAO. (2008). Proyecto evaluación de la degradación de tierras en zonas áridas

(LADA). República Argentina. Informe de avance a escala local.

FAO. GEF. Mecanismo Global de la UNCCD. UNCCD. UNEP. WOCAD. ODG

DEV. UNITED NATIONS UNIVERSITY. Manual de evaluación local de la degradación de tierras áridas (LADA – L). Versión final septiembre de 2007.

FAO, PROYECT LADA. (2013). Land degradation Assessment in drylands; Mapping

land use systems at global and regional scales for Land degradation

assessment analysis (Version 1.1). Roma, Italia. Recuperado de

<http://www.fao.org/nr/lada>

Guerra, J. (2010). Evaluación de la degradación de los suelos naturales de la isla

de Tenerife: Secuencias edáficas evolutivas y regresivas. Canarias España

soportes audiovisuales e informáticos.

León T. (2002) Curso de Agricultura sostenible. Relaciones agricultura –

ambiente en la degradación de tierras en Colombia. En:

[http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/lecciones/lect8/lect8\\_1.html](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/lecciones/lect8/lect8_1.html)

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT & Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2005). Propuesta para la gestión integral ambiental de recurso suelo (GIARS). Bogotá DC, Colombia.

Lillo, J. (s/f). *Tema 11. Acidificación del Suelo*. [En línea]. Consultado: (22 octubre, 2013) Disponible en: <http://www.escet.urjc.es/~jlillo/Acidificacion.pdf>.

Vidal, I. Etchevers, J. & Fischer, A. (1997). Biomasa microbiana en un suelo sometido a diferentes manejos de labranza y rotación. *Agricultura Técnica (Chile)*, 57(4), 272-271.

CDE/WOCAT & FAO/LADA. (2008). Un cuestionario para posibilitar la realización de mapas de la degradación de la tierra y el desarrollo de mecanismos para el Manejo Sustentable de la Tierra. Recuperado de <http://www.fao.org/nr/lada>

Huting, J. Dijkshoorn, J. & Van, E. (2007). GIS procedures for mapping SOTER-landform for the LADA partner countries (Argentina, China, Cuba, Senegal and The Gambia, South África and Tunisia). ISRIC report 2008/04 and GLADA report 2008/02, ISRIC – World soil information and FAO, Wageningen (30 pp with data set). Recuperado de:

[http://www.isric.org/isric/Webdocs/Docs/ISRIC\\_Report\\_2008\\_04.pdf](http://www.isric.org/isric/Webdocs/Docs/ISRIC_Report_2008_04.pdf)