


	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						  
	<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-06</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 2</b>

Neiva, Junio 12 de 2015

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

JENNIFER KATIUSCA CASTRO CAMACHO, con C.C. No. 1.075.212.450 de Neiva





Autor (es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL PARA CONTRARRESTAR EFECTOS DE EROSIÓN Y DEGRADACIÓN DE SUELOS EN LA ECORREGIÓN DESIERTO DE LA TATACOA

Presentado y aprobado en el año 2015 como requisito para optar al título de

MAGÍSTER EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:





- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>					  	
	<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-06</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>2 de 2</b>

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Jennifer Katusca Castro Camacho

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						  
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 4</b>

**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** Estrategias de Sostenibilidad Ambiental para contrarrestar efectos de erosión y degradación de suelos en la Ecorregión Desierto de La Tatacoa

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Castro Camacho	Jennifer Katusca

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Cerquera Peña	Néstor Enrique

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre





**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental

**CIUDAD:** Neiva      **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2015      **NÚMERO DE PÁGINAS:** 62

**TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):**

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						  
	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>2 de 4</b>

Diagramas\_\_\_ Fotografías\_\_\_ Grabaciones en discos\_\_\_ Ilustraciones en general X  
 Grabados\_\_\_ Láminas\_\_\_ Litografías\_\_\_ Mapas\_\_\_ Música impresa\_\_\_ Planos\_\_\_  
 Retratos\_\_\_ Sin ilustraciones\_\_\_ Tablas o Cuadros X

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento: No Requiere

**MATERIAL ANEXO:** No Aplica

**PREMIO O DISTINCIÓN** (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**





<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Índice de similitud de Jaccard	Jaccard similarity index
2. Afinidad fitogeográfica	Phytogeographic affinity
3. Bosque seco tropical	Tropical dry forest
4. Valoración económica	Economic valuation
5. Respirimetría	Respirometry
6. Índice de mineralización	Mineralization rate
7. Materia orgánica	Organic matter

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

En este trabajo de grado se muestran tres productos de una investigación encaminada hacia el desarrollo de estrategias de sostenibilidad ambiental para contrarrestar efectos de erosión y degradación de los suelos mejorando la productividad y diversidad biológica en el Desierto de La Tatacoa.

En el capítulo 2 se muestra la determinación del índice de afinidad fitogeográfica del Desierto de La Tatacoa con otras zonas de bosque seco tropical de Colombia, los resultados permitieron establecer las especies más idóneas en esta zona de vida para las labores de reverdecimiento, promoviendo la conservación de las especies nativas del bosque seco tropical en el Desierto de La Tatacoa y conocer la afinidad fitogeográfica existente entre otras zonas del país para mejorar la cobertura vegetal de todas las áreas afectadas.

En el capítulo 3 se construyó un modelo de estimación del valor bruto de producción

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						  
	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>3 de 4</b>

agrícola y se encontró que al avance del proceso de desertificación de esta ecorregión tiene un efecto significativo de reducción, sobre la producción en los suelos.

Por último, en el capítulo 4 se realizó un análisis comparativo de la actividad respiratoria y el índice de mineralización de la materia orgánica entre suelos de diferentes localidades de la zona bosque seco tropical del departamento del Huila, los que mostraron un comportamiento diferente en cada tratamiento con cambios en la respiración significativos y con un índice de mineralización que prueban que el potencial de degradación de los microorganismos del suelo, para contenidos medios y bajos de materia orgánica es bajo.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

In this paper grade three products of research aimed at developing strategies for environmental sustainability to counter effects of erosion and soil degradation improving productivity and biodiversity in the Tatacoa Desert shown.

In chapter 2 the determination of the phytogeographic affinity Desert Tatacoa with other areas of tropical dry forest of Colombia shows, the results allowed to establish the most suitable species living in this area for greening the work of promoting conservation native species of tropical dry forest in the desert of La Tatacoa and meet existing phytogeographic affinity between other parts of the country to improve vegetation cover all affected areas.

In chapter 3 a model to estimate the gross value of agricultural production was built and found that the advance of desertification process of this ecoregion has a significant reducing effect on production in soils.

Finally, in chapter 4 a comparative analysis of respiratory activity and the rate of mineralization of organic matter from soils from different localities of the tropical dry Huila forest area, which showed a different behavior in each treatment was performed with significant changes in breathing and with a mineralization rate proving that the potential degradation of soil microorganisms, for middle- and low organic matter content is low.

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>				  		
	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>4 de 4</b>

### APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: NÉSTOR ENRIQUE CERQUERA PEÑA

Firma:

Nombre Jurado: ALFREDO OLAYA AMAYA

Firma:

Nombre Jurado: EDUARDO PASTRANA BONILLA

Firma:

ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL PARA CONTRARRESTAR  
EFECTOS DE EROSIÓN Y DEGRADACIÓN DE SUELOS EN LA ECORREGIÓN  
DESIERTO DE LA TATACOA

JENNIFER KATIUSCA CASTRO CAMACHO

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL  
NEIVA  
2015

ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL PARA CONTRARRESTAR  
EFECTOS DE EROSIÓN Y DEGRADACIÓN DE SUELOS EN LA ECORREGIÓN  
DESIERTO DE LA TATACOA

JENNIFER KATIUSCA CASTRO CAMACHO

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de  
Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental

Director  
NÉSTOR ENRIQUE CERQUERA PEÑA MSc.  
Ingeniero Agrícola

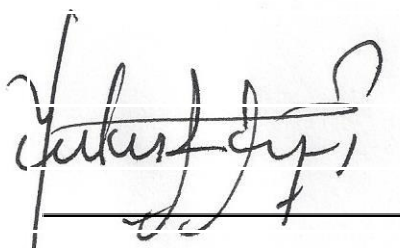
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL  
NEIVA  
2015



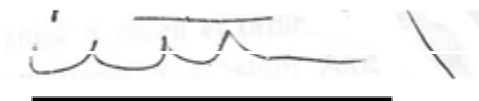
Nota de Aceptación

**APROBADO**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Yuberly', written over a horizontal line.

Presidente del Jurado

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Luis', written over a horizontal line.

Jurado

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Luis', written over a horizontal line.

Jurado

Neiva, Junio de 2015

Copyright © 2015 por Jennifer Katusca Castro Camacho. Todos los derechos reservados.

## **Dedicatoria**

Quiero dedicar este logro a:

Mi padre Elmecias Castro Medina, mis hermanos Jhonatan, Braian, Kimberli y a mi sobrina  
Ana Lucía.

## Agradecimientos

Se desea expresar los agradecimientos a:

NÉSTOR ENRIQUE CERQUERA PEÑA, Ingeniero Agrícola, MSc en Ingeniería Agrícola, Profesor Titular del Área de Agroindustria del programa de Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana y Director del Proyecto, por la orientación y apoyo permanente.

EDUARDO PASTRANA BONILLA, Ingeniero Agrícola, PhD en Ciencia de los alimentos, Profesor Titular del Área de Agroindustria del programa de Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana por todos sus aportes académicos y gran aprecio.

ALFREDO OLAYA AMAYA, Licenciado en Biología, PhD en Recursos Hidráulicos, Profesor Asociado del Área de Adecuación de tierras del programa de Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana por todos sus aportes académicos y colaboración.

FREDDY HUMBERTO ESCOBAR MACUALO, Ingeniero de Petróleos, PhD en Ingeniería de Petróleos, Profesor Titular del programa de Ingeniería de Petróleos. Universidad Surcolombiana, por su voto de confianza y por la motivación a escribir continuamente.

ARMANDO TORRENTE TRUJILLO, Ingeniero Agrícola, PhD en Ciencias Agrarias, Profesor Titular del programa de Ingeniería Agrícola, Universidad Surcolombiana, por sus valiosos aportes académicos.

IVAN DARIO MENDEZ GOYES y CESAR HORACIO QUESADA QUINTERO, Estudiantes X semestre de Ingeniería Agrícola, Universidad Surcolombiana, por su amistad y apoyo en trabajo de campo.

LABORATORIOS CONTROL DE CALIDAD Y PROCESOS AGROINDUSTRIALES, Facultad de Ingeniería, Universidad Surcolombiana, por la colaboración en el préstamo de equipos y espacios físicos para el desarrollo de la investigación.

LABORATORIO DE SUELOS, Facultad de Ingeniería, Universidad Surcolombiana, por los servicios de análisis de las muestras estudiadas.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera, mediante su ayuda y colaboración hicieron posible que este proyecto se pudiera realizar.

## Resumen

En este trabajo de grado se muestran tres (3) productos de una investigación encaminada hacia el desarrollo de estrategias de sostenibilidad ambiental para contrarrestar efectos de erosión y degradación de los suelos mejorando la productividad y diversidad biológica en la ecorregión Desierto de La Tatacoa.

En el capítulo 2 se muestra la determinación del índice de afinidad fitogeográfica del Desierto de La Tatacoa con otras zonas de bosque seco tropical (bs-T) de Colombia, los resultados permitieron establecer las especies más idóneas en esta zona de vida para las labores de reverdecimiento, promoviendo la conservación de las especies nativas del bosque seco tropical en el Desierto de La Tatacoa y conocer la afinidad fitogeográfica existente entre otras zonas del país para mejorar la cobertura vegetal de todas las áreas afectadas.

En el capítulo 3 se construyó un modelo de estimación del valor bruto de producción agrícola y se encontró que al avance del proceso de desertificación de esta ecorregión tiene un efecto significativo de reducción, sobre la producción en los suelos.

Por último, en el capítulo 4 se realizó un análisis comparativo de la actividad respiratoria y el índice de mineralización de la materia orgánica entre suelos de diferentes localidades de la zona bosque seco tropical del departamento del Huila, los que mostraron un comportamiento diferente en cada tratamiento con cambios en la respiración significativos y con un índice de mineralización que prueban que el potencial de degradación de los microorganismos del suelo, para contenidos medios y bajos de materia orgánica es bajo.

Mediante la divulgación de este documento se busca beneficiar a la comunidad que habita en el área de estudio y a la colectividad académica que brinda asesoría y acompañamiento a la población en esta zona.

**Palabras clave:** Índice de similitud de Jaccard, afinidad fitogeográfica, bosque seco tropical, valoración económica, Respirometría, índice de mineralización, materia orgánica.

## Tabla de Contenidos

	Pág.
Capítulo 1. Introducción e información general	1
1. Introducción	1
2. Información general	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
2.3 Revisión de literatura	4
Capítulo 2. Determinación del Índice de Afinidad Fitogeográfica de la Ecorregión del Desierto de La Tatacoa con otras zonas de bosque seco tropical de Colombia.	9
Resumen	9
1. Introducción	9
2. Metodología	11
2.1 Recolección de la información	12
2.1.1 Índice de Jaccard (Ij)	12
2.1.2 Índice de afinidad fitogeográfica	13
3. Resultados	14
4. Conclusiones	22
Referencias	22
Capítulo 3. Modelo de Valoración Económica del avance del proceso de desertificación del “Desierto De La Tatacoa”	24
Resumen	24
1. Introducción	25
2. Metodología	26
2.1 Elaboración y validación del instrumento	26
2.2 Aplicación del instrumento y tamaño de la muestra	28
2.3 Valoración económica del avance del proceso de erosión	29
3. Resultados	30
3.1 Aplicación, validación del instrumento y análisis de la información	30
3.2 Valoración económica de la erosión de los suelos del Desierto de la Tatacoa	34
4. Conclusiones	37
Referencias	38
Capítulo 4. Análisis comparativo de la Actividad respiratoria y el Índice de mineralización de la materia orgánica entre suelos de diferentes localidades de la zona bosque seco tropical del Departamento del Huila, Colombia.	41
Resumen	41
1. Introducción	42
2. Metodología	43
2.1 Caracterización inicial y final de los suelos objeto de estudio	44
2.2 Respirimetría de los suelos	44

	ix
2.3 Cálculo del Índice de mineralización de materia orgánica	45
3. Resultados	46
3.1 Caracterización inicial de los suelos objeto de estudio.	46
3.2 Respirometría de los suelos	48
3.3 Índice de mineralización de materia orgánica	50
4. Conclusiones	52
Referencias	53
Lista de referencias	56
Vita	60

**Lista de tablas**

	Pág.
Capítulo 2.	
Tabla 1. Abreviatura de las ecorregiones	13
Tabla 2. Coordenadas de las ecorregiones con zona de vida bs-T en Colombia	14
Tabla 3. Matriz de similitud de Jaccard	16
Capítulo 3.	
Tabla 1. Principales fuentes bibliográficas consultadas para la elaboración del instrumento.	27
Tabla 2. Valores de Criterio de Confiabilidad	31
Tabla 3. Resultados obtenidos para el modelo de valoración económica por el método de mínimos cuadrados ordinarios	35
Tabla 4. Resultados obtenidos para el modelo de valoración económica por el método de mínimos cuadrados ordinarios sin la variable de desertificación	36
Capítulo 4.	
Tabla 1. Condiciones agroclimáticas de los predios y textura “in situ”.	46
Tabla 2. Análisis de varianza de la emisión de CO <sub>2</sub> respecto al tiempo entre los tratamientos.	50
Tabla 3. Cuadro 3. Análisis de varianza del índice de mineralización respecto al tiempo.	52



**Lista de figuras**

	Pág.
Capítulo 2.	
Figura 1. Georeferenciación de zonas de vida bs-T en Colombia	15
Figura 2. Dendograma de similaridad de especies entre zonas bs-T	17
Figura 3. Número especies comunes con Desierto de La Tatacoa	18
Capítulo 3.	
Figura 1. Zonas de estudio del Desierto de La Tatacoa	31
Figura 2. Actividades económicas realizadas en los predios estudiados	32
Figura 3. Cultivos implementados en las zonas de estudio	33
Capítulo 4.	
Figura 1. Caracterización de los suelos al iniciar el proceso de medición.	47
Figura 2. Caracterización de los suelos estudiados, transcurridas 96 horas de respirometría	47
Figura 3. Concentración de CO <sub>2</sub> emitida por los suelos a través del tiempo	49
Figura 4. Comportamiento del índice de mineralización respecto al tiempo	51

## Capítulo 1

### Introducción e información general

#### 1. Introducción

La Tatacoa es una región que pertenece al municipio de Villavieja y está ubicada al norte del departamento del Huila, en el Valle del río Magdalena. Presenta condiciones de sequía y erosión típicas, para las cuales la vegetación nativa está adaptada mediante sus características morfológicas y fisiológicas.

Según el sistema bioclimático propuesto por Holdridge (1967), la Tatacoa pertenece a las zonas de bosque seco tropical y bosque muy seco tropical (Espinal, 1990; Olaya, 1995). En el país se encuentra ese tipo de bosques especialmente en los valles interandinos de los ríos Magdalena, Patía & Chicamocha (Llanos, 2001).

Forero (2005) afirma que en zonas como La Tatacoa sólo existe un 3% o menos del bosque natural original. Esto, debido a que en la región se retiró la cobertura vegetal para implementar prácticas de ganadería extensiva, lo que desencadenó en pocos años problemas de degradación y pérdida de la capacidad natural del suelo para infiltrar y conservar la humedad. La Tatacoa, actualmente presenta avanzados procesos de erosión, salinización, desertización y falta de vida en el suelo. Los factores que deterioran el recurso suelo disminuyen la diversidad biológica e impiden, por tanto, alcanzar las metas de desarrollo sustentable (Cortés, 2002).

Se han realizado diferentes investigaciones en este ecosistema estratégico de Colombia: Vargas (2001) estudió la geología del Desierto de La Tatacoa y Malagón (2003), las tipologías de los suelos por regiones de Colombia; Calvachi (2012); Mendoza

(1999); Rangel & Franco (1985) y Llanos (2001), han realizado inventarios de especies vegetales del Desierto de La Tatacoa y observaciones fitoecológicas en varias regiones de vida en la Cordillera Central.

Ortiz & Polanía (2013), realizaron una descripción del avance del proceso de desertificación en esta ecorregión, y Delgado, Hernández & Castaño (2012) hicieron un estudio computacional de la radiación en la atmósfera del Desierto. De igual manera, Guerrero, Sarmiento & Navarrete (2000) analizaron la sucesión cretácica del Valle del Magdalena; Setoguchi, Shigehara, Rosenberger & Cadena (1985) encontraron fósiles de primates del Mioceno medio; Villaroel, Brieva & Cadena (2012) mamíferos fósiles del Pleistoceno tardío y Sánchez (2001) hallazgos fósiles de invertebrados, peces, reptiles y aves.

Olaya & Sánchez (2001) han documentado la interacción del Desierto de La Tatacoa con recursos hídricos de importancia en el Alto Magdalena, y en cuanto a fauna, Losada & Molina (2011) realizaron un inventario de especies de aves existente en la zona de vida bosque seco tropical; Acosta-Galvis (2012) encontró anfibios en los enclaves secos de La Tatacoa y su área de influencia en el Alto Magdalena y Sánchez & Olaya (2001) mencionan grupos zoológicos que predominan en los ambientes de mayor extensión y el papel ecológico de los mismos, en La Tatacoa.

Aunque se ha investigado en varias disciplinas, en el Desierto de la Tatacoa faltaba establecer el índice de afinidad fitogeográfica que permita medir la inclusión de especies foráneas en los distintos grupos de similitud como consecuencia de los cambios ambientales resultantes de las actividades humanas. Así mismo, es importante realizar

investigaciones que contribuyan de forma significativa a orientar el desarrollo económico y social hacia usos de la tierra y aprovechamiento del agua que sean más concordantes con el uso potencial del Desierto. Igualmente, la actividad respiratoria y el índice de mineralización de la materia orgánica acompañado de los estudios de características físicas y químicas de los suelos de la zona bosque seco tropical, permitirán tomar decisiones correctas sobre la gestión del recurso suelo.

Teniendo en cuenta lo anterior, en este trabajo de grado se muestran tres (3) productos de una investigación encaminada hacia el desarrollo de metodologías que buscan mejorar la productividad y diversidad biológica de los suelos en el Desierto de La Tatacoa. Mediante la divulgación de este documento se busca beneficiar a la comunidad que habita en el área de estudio y a la colectividad académica que brinda asesoría y acompañamiento a la población en esta zona.

## **2. Información General**

### **2.1 Objetivo general**

Establecer metodologías que permitan mantener a lo largo del tiempo la productividad y diversidad biológica en los suelos de la ecoregión Desierto de La Tatacoa.

### **2.2 Objetivos específicos**

Determinar el índice de afinidad fitogeográfica del Desierto de La Tatacoa con otras zonas de bosque seco tropical (bs-T) de Colombia.

Construir un modelo de valoración económica del avance del proceso de desertificación del Desierto de La Tatacoa.

Realizar un análisis comparativo de la actividad respiratoria y el índice de mineralización de la materia orgánica entre suelos de diferentes localidades de la zona bosque seco tropical del departamento del Huila.

### **2.3 Revisión de literatura**

El bosque seco tropical (bs-T) está definido como una formación vegetal de cobertura boscosa continua, presenta temperaturas superiores a los 24 °C y precipitaciones entre los 1000 y 2000 mm anuales (Holdridge, 1967), con uno o dos periodos marcados de sequía al año (Instituto Alexander von Humboldt IAVH, 1998). De acuerdo con Espinal & Montenegro (1977), se encuentran enclaves con vegetación propia del bs-T en las Islas de San Andrés y Providencia, en la región norte de la península de la Guajira, Santa Marta (Magdalena), en Gamarra (Cesar), Cañón de río Chicamocha (Santander), Convención y Ocaña, alrededores de Cúcuta (Norte de Santander), Cañón del Dagua (Valle del Cauca), Villavieja (Huila) y Valle del río Patía (Cauca).

#### **Generalidades del Desierto de la Tatacoa**

El Desierto de la Tatacoa está situado a 291 kilómetros de Bogotá y 38 kilómetros de Neiva, la capital del departamento del Huila, Colombia. El territorio de La Tatacoa se encuentra en el piso térmico cálido con una altitud discontinua entre los 386 m y 486 m, una temperatura promedio de 28.6 °C con oscilaciones que pueden alcanzar los 40 °C, niveles de humedad subhúmedo y semiárido, y una vegetación predominante de los ecosistemas Bosque seco tropical y Bosque muy seco tropical (Rodríguez, 2015).

Investigaciones realizadas por Llanos (2001) consideran como especies más típicas de la ecorregión a las cactáceas, en los resultados obtenidos se encuentran ochenta (80) especies o más de plantas que presentan adaptaciones propias de las condiciones ambientales. La descripción presentada indica que la mayor parte de las plantas presentan porte reducido, ramificación escasa, hojas de tamaño reducido o transformadas en espinas y algunas presentan enrollamiento por la sequedad ambiental y actividades fotosintéticas en sus tallos. Llanos (2001) afirma que las raíces de estas plantas son de tipo fibroso y superficiales, pivotantes profundas o extensamente alargadas y que algunas plantas se caracterizan por la presencia de látex.

Dadas las condiciones precarias del bosque seco Tropical en Colombia es importante considerar que las zonas en regeneración pueden ser oportunidad relevante y única de conservar una muestra representativa de este ecosistema. Además se deben considerar programas de restauración que busquen dar una continuidad de los remanentes existentes con otros hábitats (IAVH, 1998).

Fensholt et al. (2012) resaltan que la producción biológica es indispensable para los medios de subsistencia en la mayoría de las zonas semiáridas, una mejor comprensión de su funcionamiento enfocados en el monitoreo, modelación y proyección de los cambios en la vegetación y productividad, proporcionan el conocimiento fundamental para la preparación de las medidas de adaptación o reverdecimiento necesarias. Dentro de las medidas de reverdización se encuentran las repoblaciones con especies nativas de la zona objeto de estudio, a este tipo de investigación se le conoce como afinidad fitogeográfica. Herrmann & Tappan (2013) aplicaron este método en una región de

Senegal y los resultados permitieron establecer qué especies son más tolerantes en esta región. Adicionalmente verificaron el aumento de la cobertura vegetal por medios satelitales a lo largo del tiempo.

### **Afinidad fitogeográfica**

“La afinidad fitogeográfica busca explicar las posibles causas de la distribución actual de las plantas sobre la superficie terrestre, teniendo en cuenta la dinámica de sus poblaciones a través del tiempo, los aspectos evolutivos y los posibles cambios paleoecológicos y paleogeográficos en sus áreas de distribución” (Sarmiento, 1975). Uno de los tópicos que se tienen en cuenta para adelantar este tipo de análisis es el conocimiento de índices de similaridad o similitud. Estos índices expresan el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas, por lo que son una medida inversa de la diversidad beta, que se refiere al cambio de especies en dos muestras (Castro, 2012).

Los índices pueden obtenerse a partir de datos cualitativos o cuantitativos directamente o a través de métodos de ordenación o clasificación de las comunidades (Moreno, 2001). “El índice de Jaccard es un método estadístico usado para comparar la similitud y la diversidad entre una serie de muestras, tomando en cuenta solo el número de especies” (Castro, 2012).

### **Valoración económica de los Desiertos**

La ausencia de la valoración del recurso suelo puede llevar a la sobre explotación o al uso inadecuado y, por tanto, a que se deje de generar los flujos de beneficios necesarios para mantener el bienestar social. Por esto, es necesario contar con métodos de valoración económica que permitan estimar el valor del impacto ambiental de las actividades productivas y de consumo (Osorio & Correa, 2004).

“La valoración económica significa poder contar con un indicador de la importancia del medio ambiente en el bienestar social, y este indicador debe permitir compararlo con otros componentes del mismo” (Azqueta, 1994).

Dentro de los métodos más utilizados para evaluar la desertificación están: monitoreo en la zona, valoración económica por cambios en la productividad del suelo, estudio de muestras basadas en criterios de campo, entrevistas para opinión del uso de la tierra, informe de expertos, sensores remotos y modelamiento y simulación (Ortiz, 2013).

Adicionalmente, Rubio & Brochet (1998) citado por Flores et al. (2010), han planteado una serie de indicadores para su evaluación, tomando particularmente aspectos naturales y socioeconómicos. Estos autores resaltan que la desertificación es considerada por ellos como un proceso tan complejo que requiere de indicadores adecuados que representen el mayor número de interrelaciones de los componentes bajo diferentes escenarios de clima, suelo y uso de la tierra.

### **Importancia de la caracterización de los suelos desérticos**

En el Desierto de La Tatacoa predominan los suelos superficiales, erosionados, con afloramientos rocosos y abundantes canales de drenaje natural (Olaya & Sánchez, 2001). Hori, Stuhlberger & Simonett (2015), afirman que la desertificación no es la pérdida de tierras por su transformación en desierto o por los movimientos de las dunas de arena sino que hace referencia a la degradación de la tierra en áreas áridas, semiáridas y subhúmedas a causa de varios factores, incluyendo variaciones climáticas y actividades humanas. Cuando la degradación de las tierras sucede en las tierras secas del mundo, se suelen crear unas condiciones similares a las de un desierto. Por lo tanto, la degradación



de los suelos ocurre en cualquier lugar, pero se define como desertificación cuando se presenta en terrenos secos.

El aumento de la cobertura vegetal no está asociado solamente al factor clima, también se debe tener en cuenta el aumento de las precipitaciones, la gestión del uso del suelo (Olsson, Eklundh, & Ardö, 2005). Según Martínez, Fuentes & Acevedo (2008) el carbono orgánico que se encuentra en el suelo se relaciona con la sostenibilidad de los sistemas agrícolas afectando las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento sostenido de los cultivos. Así mismo, se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, al aportar elementos como el nitrógeno cuyo aporte mineral es normalmente deficiente. De igual forma, al modificar la acidez y la alcalinidad hacia valores cercanos a la neutralidad, el carbono presente en el suelo aumenta la solubilidad de varios nutrientes.

En los suelos de ambientes áridos los procesos de descomposición de la materia orgánica son muy lentos debido a que las condiciones climáticas no favorecen la actividad microbiana (Bucher, Torres & Abril, 2003; Torres, Abril & Bucher, 2005).

## Capítulo 2

### **Determinación del Índice de Afinidad Fitogeográfica de la Ecorregión del Desierto de La Tatacoa con otras zonas de bosque seco tropical de Colombia.**

#### **Resumen**

Se determinó el índice de afinidad fitogeográfica del Desierto de La Tatacoa con otras zonas de bosque seco tropical (bs-T) de Colombia. Para ello se realizó una revisión bibliográfica del número de especies vegetales existentes y documentadas en la zona de estudio y de las especies comunes con otras zonas del territorio nacional, para hacer el consolidado y así determinar los índices de similitud, haciendo uso de técnicas de estadística multivariada. Los resultados permitieron establecer las especies más idóneas en esta zona de vida para las labores de reverdecimiento, promoviendo la conservación de las especies nativas del bosque seco tropical en el Desierto de La Tatacoa. Así mismo, permitió conocer la afinidad fitogeográfica existente entre otras zonas del país para mejorar la cobertura vegetal de todas las áreas afectadas.

**Palabras clave:** Índice de similitud de Jaccard, bosque seco tropical, Desierto de la Tatacoa.

#### **1. Introducción**

La Tatacoa es una región perteneciente al municipio de Villavieja y ubicada al norte del departamento del Huila, ubicada en el Valle del río Magdalena. Presenta condiciones de sequía y erosión típicas para las cuales la vegetación nativa está adaptada mediante sus características morfológicas y fisiológicas. Según el sistema bioclimático

propuesto por Holdridge (1967), La Tatacoa pertenece a las zonas de bosque seco tropical y bosque muy seco tropical (Espinal, 1990; Olaya, 1995).

De acuerdo con estudios realizados mediante el Convenio USCO- Gobernación del Huila y la Corporación Regional del Alto Magdalena CAM en el 2006, la vegetación del desierto de La Tatacoa está representada por 102 especies, 79 géneros y 33 familias; de estas, en la zona central del desierto, se destacan 5 familias, las Cactáceas representadas por 7 especies, las Leguminosas con 3 especies, las Euphorbiaceas con 4 especies, las Burseráceas con 3 especies y las Convolvuláceas con 1 especie. Resaltan las especies de Cactáceas, especialmente *Stenocereus griseus*, *Opuntia schumannii*, *Melocactus curvispinus*, por su porte, características morfológicas y la belleza de sus flores.

En el país se encuentra ese tipo de bosques especialmente en los valles interandinos de los ríos Magdalena, Patía y Chicamocha (Llanos, 2001). Esta afirmación es corroborada en la investigación realizada por Suarez et al. (2004) quien menciona que en Colombia el bosque seco tropical se distribuye originalmente en las regiones de la llanura Caribe y valles interandinos de los ríos Magdalena y Cauca entre los 0 y 1000 m de altitud, en las siguientes zonas: las Islas de San Andrés y Providencia, en la región norte de la península de la Guajira, Santa Marta, en Gamarra, Cañón del río Chicamocha, Convención y Ocaña; alrededores de Cúcuta, cañón del Dagua, Desierto de la Tatacoa y Valle del río Patía.

A través del conocimiento de las especies vegetales existentes en cada lugar en donde se presente esta zona de vida, se pueden establecer estudios fitogeográficos. Según

Gama & Quintero (2004), un estudio fitogeográfico comparativo permite: conocer las especies de flora que existen, si son endémicas, o de distribución restringida, si se encuentran en algún status de protección, etcétera. También con base en estos estudios se pueden determinar los cambios que han presentado estas zonas en el transcurso de los años, y en caso de alguna catástrofe ambiental (en donde se pierda gran parte de la vegetación), saber qué especies se pueden reintroducir y de dónde poder obtenerlas; determinar niveles de fragmentación de los geocomplejos, conocer su estado de conservación o bien proponer de ser factible, la creación de corredores biológicos para favorecer el intercambio de genes de las especies. Contribuyendo con todo esto al cuidado y protección de la naturaleza.

Uno de los métodos que contribuye a la determinación de la afinidad fitogeográfica entre ecorregiones es el Índice de Jaccard, que se caracteriza por ser una herramienta estadística usada para comparar la similitud y diversidad entre una serie de muestras tomando en cuenta solo el número de especies que se encuentran en las zonas (Castro, 2012).

El objetivo de esta investigación fue determinar el índice de afinidad fitogeográfica de la ecorregión del Desierto de La Tatacoa a partir del índice de similitud de Jaccard, para establecer patrones de afinidad de especies vegetales, entre las zonas geográficas de Colombia que tienen la zona de vida de bs-T.

## **2. Metodología**

El estudio adelantado en esta investigación es descriptivo y de carácter exploratorio.

## 2.1. Recolección de la información

Se realizó un consolidado de las especies del desierto reportadas en las investigaciones del Convenio USCO-Gobernación-CAM (2006) y de Llanos (2001). Se consolidaron para clasificarlas según su presencia en la zona de vida: bs-T. Los datos de las especies comunes con otras áreas del país se tomaron de investigaciones realizadas por el IAVH (1998) y Morales & Sarmiento (2008). Las coordenadas geográficas de las zonas en Colombia con bs-T se obtuvieron con Google Earth y se georeferenciaron en un mapa del territorio nacional utilizando el programa de sistemas de información geográfica Argis 5.1.

### 2.1.1 Índice de Jaccard ( $I_j$ )

Este índice midió la similitud de presencia de especies vegetales que existen entre las zonas de bs-T utilizando la ecuación (1):

$$I_i = c / (a + b + c) \quad (1)$$

Donde

a es el número de especies en la zona 1,

b es el número de especies en la zona 2

c es el número de especies comunes en ambas zonas.

Utilizando el paquete estadístico SPSS Statistics 17.0, se conformó una matriz nxP (102x9), en donde las especies vegetales del Desierto de la Tatacoa representaron las ciento dos filas (n), y las áreas donde se presenta la zona de vida bs-T en Colombia, corresponden a las nueve columnas (P). El índice de similitud de Jaccard es binario, lo

que indica que para formar la matriz de similitud se escribió uno (1) si la especie tiene presencia en cada ecorregión y cero (0) sino tiene presencia.

Para facilitar la presentación y manejo de la información se utilizaron abreviaturas para cada ecorregión como se muestra en la tabla 1.

*Tabla 1. Abreviatura de las ecorregiones*

<b>Ecorregión</b>	<b>Abreviatura</b>
Tatacoa	T
San Andrés y Providencia	SAP
Península Guajira-Riohacha	PG
Santa Marta	SM
Gamarra	G
Cañón Chicamocha	CCh
Cañón del Dagua	CD
Convención Ocaña	CO
Valle río Patía	VRP

Se obtuvo la matriz de similitud del desierto de la Tatacoa con otras zonas biogeográficas del país, su respectivo dendograma y se establecieron las zonas con las que se tienen mayor cantidad de especies en común.

### **2.1.2 Índice de afinidad fitogeográfica**

Este índice se calculó con la ecuación (2), según la metodología propuesta por Herrmann y Tappan (2013):

$$PAI = \frac{\sum_{i=0}^n (PA_i * AC_i)}{\sum_{i=0}^n (AC_i)} \quad (2)$$

Donde n es el número de especies en el sitio, PA es el índice de similitud y AC es la categoría de abundancia (Rara: 1, Escasa: 2, Común: 3, Muy común: 4, Nativa: 5). Los

resultados de este índice permitieron establecer qué especies son más comunes en la zona de estudio y cuáles podrían ser sembradas en otras zonas biogeográficas del país.

### 3. Resultados

En la tabla 2 se presentan las coordenadas geográficas de las ecorregiones que presentan la zona de vida bs-T en Colombia y que fueron objeto de esta investigación.

*Tabla 2.* Coordenadas de las ecorregiones con zona de vida bs-T en Colombia

	<b>T</b>	<b>SAP</b>	<b>PG</b>	<b>SM</b>	<b>G</b>	<b>CCh</b>	<b>CD</b>	<b>CO</b>	<b>VRP</b>
<b>N</b>	3°13'	12°35'37"	11°32'39"	11°14'10"	8°20'	6°45'	3°39'27"	8°28'05" y 8°14'46"	2°06'51"
<b>W</b>	75°10'	81°40'49"	72°54'25"	74°12'06"	73°45'	73°02'	76°41'30"	73°20'13" y 73°21'19"	76°58'59 "

Estas coordenadas geo-referenciadas en el mapa físico del territorio nacional se pueden apreciar en la figura 1. Allí se observa que el bs-T se distribuye en las regiones de la llanura Caribe y valles interandinos de los ríos Magdalena y Cauca y abarca los departamentos del Valle del Cauca, Cauca, Huila, Santander, Norte de Santander, Cesar, Magdalena, San Andrés y Providencia y Guajira. Según Sarmiento (1975) y Hernández (1992), citados por Humboldt (1998), los bosques secos de los valles interandinos poseen componentes provenientes de la vegetación seca de la llanura Caribe, lo que muestra que en el pasado probablemente estas regiones estuvieron conectadas con un mismo tipo de vegetación y poseían condiciones climáticas similares.



Figura 1. Georeferenciación de zonas de vida bs-T en Colombia



La tabla 3 muestra la matriz de similitud de Jaccard del Desierto de la Tatacoa con otras ocho ecorregiones de Colombia que presentan la zona de vida bs-T. Según lo expuesto por Castor (2006), los resultados obtenidos con cualquier índice binario de similitud van de cero (no existe similitud entre las muestras) a uno (la similitud es del 100% entre las muestras).

*Tabla 3.* Matriz de similitud de Jaccard

	<b>T</b>	<b>SAP</b>	<b>PG</b>	<b>SM</b>	<b>G</b>	<b>CCh</b>	<b>CD</b>	<b>CO</b>	<b>VRP</b>
<b>T</b>	<b>1,000</b>	0,088	0,500	0,147	0,088	0,412	0,078	0,029	0,098
<b>SAP</b>	0,088	<b>1,000</b>	0,176	0,600	1,000	0,085	0,308	0,333	0,188
<b>PG</b>	0,500	0,176	<b>1,000</b>	0,245	0,176	0,755	0,157	0,059	0,173
<b>SM</b>	0,147	0,600	0,245	<b>1,000</b>	0,600	0,163	0,533	0,200	0,190
<b>G</b>	0,088	1,000	0,176	0,600	<b>1,000</b>	0,085	0,380	0,333	0,188
<b>CCh</b>	0,412	0,085	0,755	0,163	0,085	<b>1,000</b>	0,163	0,071	0,209
<b>CD</b>	0,078	0,308	0,157	0,533	0,308	0,163	<b>1,000</b>	0,375	0,200
<b>CO</b>	0,029	0,333	0,059	0,200	0,333	0,071	0,375	<b>1,000</b>	0,300
<b>VRP</b>	0,098	0,188	0,173	0,190	0,188	0,209	0,200	0,300	<b>1,000</b>

En la matriz (Tabla 3) se puede evidenciar que entre el Desierto de la Tatacoa y la Península de La Guajira-Riohacha la similitud es media con un coeficiente de 0,500 y más baja, 0,412 con la zona del Cañón de Chicamocha. Cabe resaltar que entre otras zonas del país el índice de similitud es mayor. Es decir, entre la zona de Santa Marta y las zonas de las islas de San Andrés y Providencia y Gamarra la similitud es alta con un coeficiente de 0,60 y con la zona del Cañón del Dagua es media, con un valor de 0,53. De igual forma, entre la zona de la Península de la Guajira-Riohacha y el Cañón del Chicamocha la similitud es alta con coeficiente de 0,76.

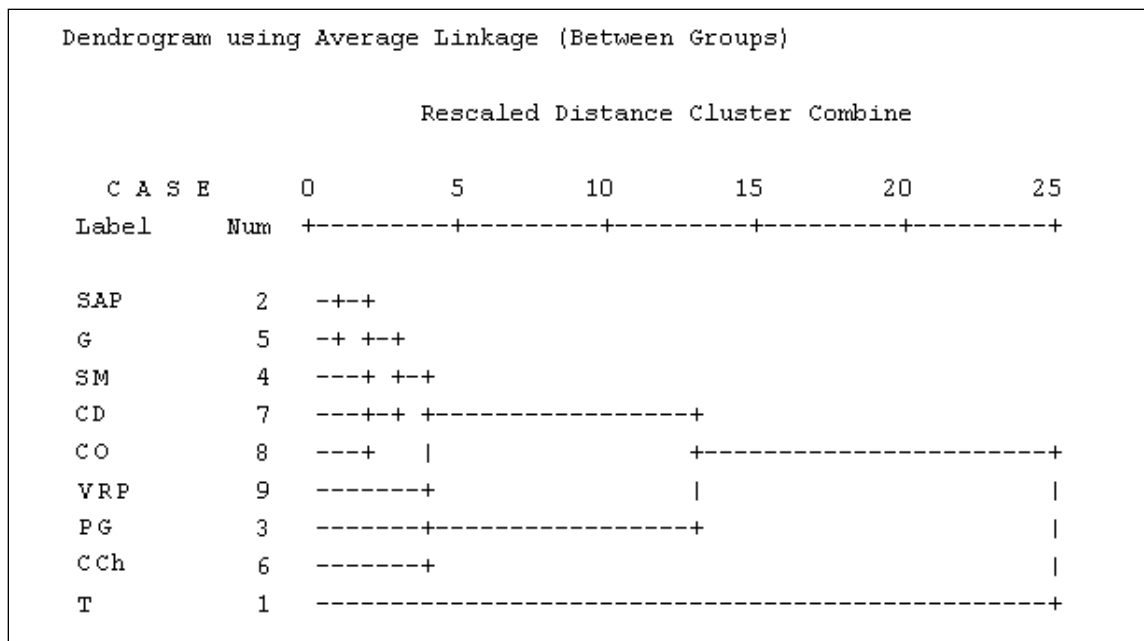


Figura 2. Dendrograma de similitud de especies entre zonas bs-T

Las zonas con mayor índice de similitud respecto al Desierto de la Tatacoa son la Península de La Guajira-Riohacha y el Cañón del Chicamocha; en el dendrograma (figura 2) se aprecia una agrupación bien definida entre estas tres zonas. Los coeficientes de similitud encontrados evidencian el potencial que poseen estas zonas para que se realice una repoblación con especies vegetales nativas de bs-T y con las facilidades de adaptación debido a que son las mismas ecorregiones, permitiendo la reverdización de una manera más eficaz que con especies vegetales foráneas. Así mismo, se puede observar que las zonas correspondientes a la agrupación conformada por Convención y Ocaña, y Valle del Río Patía poseen coeficientes de similitud muy bajos, con valores entre 0,03 a 0,38 y 0,10 a 0,30 respectivamente, mostrando una baja similitud con las otras zonas de bs-T analizadas.

En la figura 3 se muestra el número de especies que registraron un índice de afinidad fitogeográfica de especies comunes respecto a la zona del Desierto de la Tatacoa. La zona correspondiente a Convención y Ocaña cuenta con tres especies tolerantes a las condiciones del Desierto de La Tatacoa: *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harás, *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp y *Gynandropsis gracilis* (T & P) Killip.

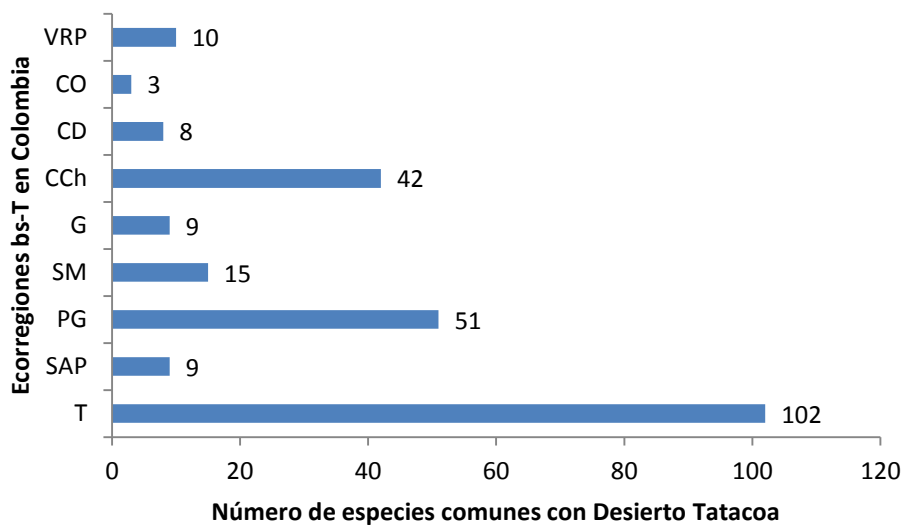


Figura 3. Número especies comunes con Desierto de La Tatacoa

Para el Cañón del Dagua se encontraron las siguientes especies comunes: *Bauhinia guianensis* Aubl, *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp., *Gynandropsis gracilis* (T & P) Killip, *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harás, *Senna pallida* (Vahl) Irwin & Barneby, *Senna obtusifolia* (L.) H.S. Irwin & Barneby, *Senna spectabilis* (DC.) H.S. Irwin & Barneby, *Senna tomentosa* Batka.

En las zonas correspondientes a Gamarra y San Andrés y Providencia se encontraron nueve especies con afinidad fitogeográfica. Para Gamarra las especies

comunes son: *Bauhinia guianensis* Aubl., *Capparis odoratissima* Jacq., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp., *Gynandropsis gracilis* (T & P) Killip, *Machaerium capote* Triana ex Dugand, *Paullinia densiflora* Smith, *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harás, *Randia armata* (Sw.) DC., *Randia aculeata* L.; para San Andrés y Providencia son: *Bauhinia guianensis* Aubl., *Capparis odoratissima* Jacq., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp., *Gynandropsis gracilis* (T & P) Killip, *Machaerium capote* Triana ex Dugand, *Paullinia densiflora* Smith, *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harás, *Randia armata* (Sw.) DC., *Randia aculeata* L.

En el Valle del Río Patía las especies comunes son: *Croton ferrugineus* Kunth, *Croton glabellus* L., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp., *Guazuma ulmifolia* Lam., *Gynandropsis gracilis* (T & P) Killip, *Ipomoea* sp., *Ipomoea carnea* Jacq., *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harás, *Sida jamaicensis* L., *Sida* SP. En Santa Marta se encuentran quince especies comunes: *Bauhinia guianensis* Aubl., *Capparis odoratissima* Jacq., *Ficus* sp., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp., *Guazuma ulmifolia* Lam., *Gynandropsis gracilis* (T & P) Killip, *Machaerium capote* Triana ex Dugand, *Paullinia densiflora* Smith, *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harás, *Randia armata* (Sw.) DC., *Randia aculeata* L., *Senna pallida* (Vahl) Irwin & Barneby, *Senna obtusifolia* (L.) H.S. Irwin & Barneby, *Senna spectabilis* (DC.) H.S. Irwin & Barneby, *Senna tomentosa* Batka.

Para el caso del Cañón de Chicamocha se encuentran cuarenta y dos especies comunes con la ecorregión Desierto de la Tatacoa: *Abutilon giganteum* (Jacq.) Sweet,

*Acacia decurrens* Willd, *Acacia farnesiana* (L.) Willd. LEG, *Acanthocereus tetragonus* (L.) Hummelinck, *Bastardia bivalvis* (Cav.) Kunth ex Griseb, *Bouteloua* sp., *Caesalpinia cassioides* Willd, *Cereus hexagonus* (L.) Mill, *Cortaderia* sp., *Croton ferrugineus* Kunth, *Desmodium adscendens* (Sw.) DC, *Desmodium incanum* DC., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp., *Gynandropsis gracilis* (T & P) Killip, *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose, *Ipomoea* sp., *Ipomoea carnea* Jacq., *Jatropha gossypifolia* L., *Jatropha urens* L., *Lonchocarpus punctatus* H.B.K., *Machaerium capote* Triana ex Dugand, *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud., *Macroptilium atropurpureum* (Sessé & Moc. Ex DC.) Urb., *Malvastrum americanum* (L.) Torr., *Melocactus curvispinus* Pfeiff., *Opuntia depauperata* Britton & Rose, *Opuntia schumannii* F.A.C. Wever ex A. Berjer, *Parkinsonia aculeata* L., *Pedilanthus tithymaloides* (L.) Poit., *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth., *Praecereus euchlorus* (F.A.C. Weber) N.P. Taylor, *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harás, *Rhynchelytrum roseum* (Nees) Stapf & C.E. Hubb., *Senegalia huilana* Britton & Killip, *Senna pallida* (Vahl) Irwin & Barneby, *Senna obtusifolia* (L.) H.S. Irwin & Barneby, *Senna tomentosa* Batka., *Sida jamaicensis* L., *Sida* SP.

La zona con mayor índice de similitud, presentan a su vez mayor afinidad fitogeográfica este es el caso de la Península de La Guajira que tiene cincuenta y un especies comunes: *Abutilon giganteum* (Jacq.) Sweet, *Acacia decurrens* Willd., *Acacia farnesiana* (L.) Willd. LEG, *Acanthocereus tetragonus* (L.) Hummelinck, *Bauhinia guianensis* Aubl , *Bastardia bivalvis* (Cav.) Kunth ex Griseb., *Bouteloua* sp., *Caesalpinia cassioides* Willd., *Calotropis procera* (Aiton) W.T. Aiton, *Capparis odoratissima* Jacq.,

*Cereus hexagonus* (L.) Mill., *Cortaderia* sp., *Croton ferrugineus* Kunth, *Desmodium adscendens* (Sw.) DC., *Desmodium incanum* DC., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp., *Gynandropsis gracilis* (T & P) Killip, *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose, *Ipomoea* sp., *Ipomoea carnea* Jacq., *Jacquemontia sphaerostigma* (Cav.) Rusby, *Jatropha gossypifolia* L., *Jatropha urens* L., *Lonchocarpus punctatus* H.B.K., *Machaerium capote* Triana ex Dugand, *Macroptilium atropurpureum* (Sessé & Moc. Ex DC.) Urb., *Malvastrum americanum* (L.) Torr., *Melocactus curvispinus* Pfeiff., *Merremia dissecta* (Jacq.) Hallier F., *Merremia umbellata* (L.) Hallier F., *Opuntia depauperata* Britton & Rose, *Opuntia schumannii* F.A.C. Wever ex A. Berjer, *Paullinia densiflora* Smith, *Parkinsonia aculeata* L., *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth., *Praecereus euchlorus* (F.A.C. Weber) N.P. Taylor, *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harás, *Randia armata* (Sw.) DC., *Randia aculeata* L., *Rhynchelytrum roseum* (Nees) Stapf & C.E. Hubb., *Sarcostemma clausum* (Jacq.) Schult., *Senegalia huilana* Britton & Killip, *Senna pallida* (Vahl) Irwin & Barneby, *Senna obtusifolia* (L.) H.S. Irwin & Barneby, *Senna tomentosa* Batka., *Sida jamaicensis* L., *Sida* SP. *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb.

De acuerdo a lo anterior, las zonas con mayor afinidad fitogeográfica con el Desierto de la Tatacoa son en su orden: Península de la Guajira-Riohacha con cincuenta y un especies y Cañón de Chicamocha con cuarenta y dos especies comunes, seguido de Santa Marta con quince especies, Valle del Río Patía con diez especies, Gamarra y San Andrés y Providencia con nueve especies tolerantes en cada zona, Cañón del Dagua con ocho especies y Convención y Ocaña con tres especies comunes.

#### **4. Conclusiones**

Se pudo establecer el número de especies comunes en la zona de vida del bosque seco tropical, para las labores de reverdecimiento, promoviendo la conservación de las especies nativas del Desierto de La Tatacoa. Así mismo, esta investigación permite que otras zonas del país puedan conocer la afinidad fitogeográfica existente entre ellas y trabajar en equipo para mejorar la cobertura vegetal de todas las áreas afectadas.

El Desierto de la Tatacoa puede realizar procesos de reverdecimiento de manera eficaz con las especies comunes existentes en la Península de la Guajira-Riohacha y el Cañón del Chicamocha. Estas especies vegetales nativas de bs-T presentarán facilidades de adaptación debido a que son provenientes de las mismas ecorregiones.

El estudio permitió identificar que entre otras ecorregiones existe un índice de similitud alto: entre la zona de Santa Marta y las zonas de las islas de San Andrés y Providencia y Gamarra, al igual que entre la zona de la Península de la Guajira-Riohacha y el Cañón del Chicamocha. Entre la zona de Santa Marta y la zona del Cañón del Dagua el índice de similitud es medio.

#### **Referencias**

- Castor G. (2006). Tratamiento de datos. Ediciones Diaz de Santos. España. pp. 305-306.
- Castro. S. (2012). Análisis florístico y fitogeográfico de ambientes asociados al complejo de ciénagas de Zapatosa (Cesar) en el Caribe colombiano. Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de Magister en Ciencias Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia.
- Espinal. L. (1990). Notas ecológicas sobre el Huila. Universidad Nacional de Colombia. Medellín (Colombia). pp. 13-54.

- Gama. L. and Quintero. A. (2013). Importancia de estudios fitogeográficos comparativos en Tabasco. [online] [http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/kuxulkab/ediciones/19\\_2004/f\\_Quintero%20etal\\_2004.pdf](http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/kuxulkab/ediciones/19_2004/f_Quintero%20etal_2004.pdf). [2013. November 20]. p. 41.
- Herrmann. S and Tappan. G. (2013). Vegetation impoverishment despite greening: A case study from Central Senegal. *Journal of Arid Environment*. Elsevier.
- Holdridge L. R. (1967). *Life Zone Ecology*. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. (Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa: «Ecología Basada en Zonas de Vida», 1a. ed. San José, Costa Rica: IICA, 1982).
- Humboldt Alexander Von Instituto. (1998). *El Bosque Seco Tropical en Colombia*. Programa de Inventario de la Biodiversidad. Grupo de exploraciones y monitoreo ambiental. pp. 1-6.
- Llanos. F. (2001). *Vegetación del Desierto de la Tatacoa*. Capítulo del Libro: *La Tatacoa Ecosistema Estratégico de Colombia*. Editorial Universidad Surcolombiana. Universidad Surcolombiana. Neiva. Colombia. pp. 81-87.
- Morales A. and Sarmiento D.M. (2008). *Árboles del Bosque Seco Tropical en el área del Parque Recreativo y Zoológico Piscilago- Nilo Cundinamarca*. Cartilla realizada en convenio con la Universidad Autónoma de Colombia. Primera edición. Cundinamarca. pp. 16-115.
- Olaya. A. (1995). *El espacio del hombre huilense*. Academia Huilense de Historia. Historia general del Huila. Neiva. Colombia. I: 33-87.
- Suarez. F., Bonilla S., Martinez E., Galindo R. and Sanchez L. (2004). *Aporte al manejo de los bosques secos del área metropolitana de Cúcuta*. Departamento norte de Santander - Colombia. Convenio 089 / 2003. Entre la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental CORPONOR. La Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales –UAESPNN- y la Universidad de Pamplona. San José de Cúcuta. Norte de Santander.



### Capítulo 3

#### Modelo de Valoración Económica del avance del proceso de desertificación del “Desierto De La Tatacoa”

##### Resumen

En la presente investigación se diseñó y validó un instrumento que permitió recolectar la información para la valoración económica del avance del proceso de erosión de los suelos del Desierto de la Tatacoa. Para la validación del instrumento se utilizó el análisis de consistencia interna calculado por el coeficiente de Alfa de Cronbach, dando como resultado un instrumento de fuerte confiabilidad. Para la valoración económica del avance del proceso de erosión de los suelos se utilizó un modelo básico agregado, el cual permite observar los efectos de la desertificación sobre las variables “capital y trabajo”, expresado en el modelo como “Valor bruto de la producción agrícola” (VBP). Las variables del modelo afectan en conjunto al “valor bruto de producción agrícola”, encontrándose además que el capital, el terreno, la desertificación y la interacción entre el factor terreno y desertificación, son variables que, individualmente, explican el valor bruto de la producción agrícola.

**Palabras clave:** Valor bruto de producción agrícola, desertificación, Desierto de La Tatacoa, valoración económica

## 1. Introducción

La desertificación y el deterioro de los suelos amenazan acabar con ecosistemas estratégicos y atentan contra las actividades socioeconómicas que realizan los habitantes de la ecoregión, lo que conlleva al deterioro de su calidad de vida.

De acuerdo con Ortiz (2013), la desertificación es la degradación de las tierras áridas, semiáridas y zonas subhúmedas secas, causada principalmente por variaciones climáticas y actividades humanas tales como el cultivo y el pastoreo excesivo, la deforestación y la falta de riego. Según la ONU a través de su programa para el Medio Ambiente (PNUMA) (1994), la desertificación amenaza a la cuarta parte del planeta, afecta directamente a más de 250 millones de personas y pone en peligro los medios de vida de más de 1000 millones de habitantes de más de 100 países al reducir la productividad de las tierras destinadas a la agricultura y la ganadería.

En el departamento del Huila se presenta este tipo de inconvenientes en zonas áridas y semiáridas correspondientes a la ecoregión del Desierto de la Tatacoa en el Municipio de Villavieja. Su ubicación corresponde al norte del departamento del Huila y, de acuerdo con Espinal (1990), tiene dos zonas con biotemperatura en °C y precipitación en mm correspondientes a: Bosque muy seco tropical (bms-T) de +- 24 °C, lluvia 500-1000 mm; Bosque seco tropical (bs-T) +- 24 °C, lluvia 1000-2000 mm.

Olaya et al. (2001) afirma que en el Desierto de la Tatacoa predominan los suelos superficiales, erosionados con afloramientos rocosos y abundantes canales de drenaje natural y asociación edáfica seco-estériles, cuyos períodos de agua disponible en el suelo son más cortos y los periodos de déficit de humedad más largos. Los suelos de este

territorio presentan materiales de acumulación sedimentaria muy susceptibles a la erosión. El ganado vacuno, ovino y caprino presente en la zona se alimenta principalmente de pastos nativos y arbustos, generando procesos de erosión e impidiendo el desarrollo de cobertura vegetal. Por otra parte, un porcentaje de aguas lluvias, cae en forma de aguaceros intensos, por lo tanto, la precipitación y la escorrentía son muy erosivas. Estos dos factores sumados al antrópico, ha generado la formación de grandes surcos, así como la activación de desplomes y derrumbes en los terrenos más desprovistos de vegetación. Así mismo plantea la importancia de realizar investigaciones que contribuyan de forma significativa a orientar el desarrollo económico y social hacia usos de la tierra y aprovechamiento del agua que sean más concordantes con el uso potencial del Desierto.

Como resultado de esta investigación se presenta un modelo para la valorización económica de los efectos de la desertificación y degradación de los suelos en el Desierto de la Tatacoa.

## **2. Metodología**

### **2.1 Elaboración y validación del instrumento**

Para la elaboración del instrumento se realizó una revisión bibliográfica y se establecieron sets de preguntas relacionadas con información general y económica del encuestado, los terrenos, el capital y la mano de obra. Las fuentes bibliográficas relacionadas con la valoración económica de recursos naturales, que aportaron información relevante para la elaboración del instrumento, se muestran referenciadas en la tabla 1.

*Tabla 1.* Principales fuentes bibliográficas consultadas para la elaboración del instrumento.

<b>Autor</b>	<b>Título</b>
Castellanos et al. (2007)	Aplicaciones sobre Prospectiva y Valoración Económico Ambiental
Colombo et al. (2003)	Análisis económico de la erosión del suelo: valoración de los efectos externos en la cuenca del Alto Genil
Cristeche & Penna (2008)	Métodos de Valoración Económica de los Servicios Ambientales
Henaó et al. (1999)	Valoración económica aproximada de los costos ambientales de la cuenca del Río Las Ceibas
Minambiente (2003)	Metodologías para la valoración económica de Bienes, Servicios Ambientales y Recursos Naturales
Muñoz (2004)	La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental
Ortiz (2013)	Identificación y descripción del avance del proceso de desertificación en el ecosistema estratégico desierto de la Tatacoa
Serna (2009)	Valoración contingente de la erosión de los suelos de la zona cafetera central de Colombia
Tarazona (2010)	Evaluación económica de recursos naturales del Cerro La Judía mediante Valoración Contingente
Vargas (2007)	Caracterización de los factores Socioeconómicos de la desertificación en México

Las preguntas diseñadas para el instrumento fueron sometidas a aprobación teniendo en cuenta las opiniones de expertos en el tema a través de Sesiones Delphi, de acuerdo a la metodología usada por Castro & Ramírez (2009). Para la validación del instrumento se utilizó el análisis de consistencia interna calculado por el coeficiente de

Alfa de Cronbach. Este método de medición de la confiabilidad de un instrumento, ha sido utilizado en investigaciones realizadas por Álvarez et al. (2006), Meliá, et al. (1990), Ledesma et al. (2002) y Oviedo et al. (2005), para darle fiabilidad al instrumento de medición empleado en la recolección de la información.

El cálculo del Coeficiente de Alfa de Cronbach ( $\alpha$ ) viene dado por la ecuación (1):

$$\alpha = \left[ \frac{k}{k-1} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{\sum s_i^2}{\sum s_t^2} \right] \quad (1)$$

Donde:

$S_i^2$  = La suma de varianzas de cada ítem.

$S_t^2$  = la varianza del total de filas (puntaje total de los jueces)

$k$  = el número de preguntas o ítems.

## 2.2 Aplicación del instrumento y tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra representativa se determinó por medio de la ecuación (2), la cual fue empleada por Saavedra (2005), para muestreos aleatorios simples, de esta manera se seleccionaron, completamente al azar, los predios ubicados en el área de influencia del Desierto de la Tatacoa.

$$n = \frac{z^{2\alpha} / 2 \cdot (p \cdot q)^2}{e^2 + \frac{z^{2\alpha} / 2 \cdot (p \cdot q)^2}{N}} \quad (2)$$

Donde:

$n$ : Tamaño óptimo de la muestra

$Z^2 \alpha/2$  : Corresponde a 1.96 para un nivel de confianza del 95 %

p: Proporción de la población que posee las características de interés.

q: 1-p

e<sup>2</sup>: Error estándar de la estimación o error tolerable para la Medición (4.5 %)

N: Tamaño de la población.

### 2.3 Valoración económica del avance del proceso de erosión

Para la valoración económica del avance del proceso de erosión de los suelos se utilizó un modelo básico agregado conforme a la metodología empleada por Morales (2012), el cual permite observar los efectos de la desertificación sobre las variables “capital y trabajo”, expresado como “Valor bruto de la producción agrícola” (VBP)

Se hicieron regresiones de estas funciones linealizadas con el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) utilizando la aplicación informática portable EViews 5.0, en las que se tomó como variable dependiente el “Valor Bruto de Producción agrícola” (VBP) y como variables explicativas los factores productivos básicos: terreno (ti), capital (ki) y trabajo (li); para representar el fenómeno de la desertificación, se introdujo una variable “dummy” (DES) de carácter binario y una variable de interacción entre el factor terreno y la desertificación (DES\*ti) para explicar los efectos de la desertificación sobre la elasticidad VBP-terreno (Ecuación 3).

$$VBP = \beta_0 + \beta_1 * t_i + \beta_2 * k_i + \beta_3 * l_i + \beta_4 * DES * t_i + \beta_5 * DES + \epsilon_i \quad (3)$$

Donde

VBP: representa el logaritmo natural del “Valor bruto de la producción agrícola”

$\beta$ : coeficientes de  $y_i$ ,  $t_i$ ,  $k_i$  y  $l_i$ , (logaritmos naturales de los factores productivos)

DES: variable “dummy” de desertificación, donde DES=1 si la unidad territorial en la que se ubica el predio está afectada por desertificación grave, y DES=0 en el caso contrario.

$\epsilon_i$ : representa el término de error

Se realizó el mismo procedimiento anterior, asignando a la variable DES el valor de cero en todas aquellas observaciones de unidades afectadas por la desertificación, con el objeto de estimar la variación del modelo en el caso hipotético de que los predios no sufrieran este problema.

### **3. Resultados**

#### **3.1 Aplicación, validación del instrumento y análisis de la información**

Se diseñó un instrumento conformado por treinta y nueve ítems, organizados en cinco ejes temáticos: “identificación del personal entrevistado”, “información general e ingresos familiares”, “terrenos”, “capital” y “mano de obra”. Al aplicar la ecuación 1 para calcular el índice de confiabilidad y de consistencia interna por medio del Alfa de Cronbach, se encontró un valor de 0.84, que conforme a lo estudiado por Christopher (2007) y resumido en la tabla 2, se encuentra en el intervalo correspondiente a “fuerte confiabilidad”, lo que indica que el instrumento aplicado es confiable y de excelente consistencia interna, encontrándose correlación de los ítems con la información recolectada con el instrumento.

Tabla 2. Valores de Criterio de Confiabilidad

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>
No es confiable	-1 a 0
Baja confiabilidad	0.01 a 0.49
Moderada confiabilidad	0.5 a 0.75
Fuerte confiabilidad	0.76 a 0.89
Alta confiabilidad	0.9 a 1

Fuente: Cristopher (2007)

Aplicando la ecuación 2 se obtuvo el tamaño de la muestra, que correspondió a treinta (30) predios, los cuales fueron seleccionados completamente al azar, ubicados en siete zonas del Desierto de La Tatacoa: Doche, San Alfonso, Potosí, La Manguita, Cuzco, San Nicolás y Polonia.

Los porcentajes de participación de cada zona estudiada se muestran en la figura 1

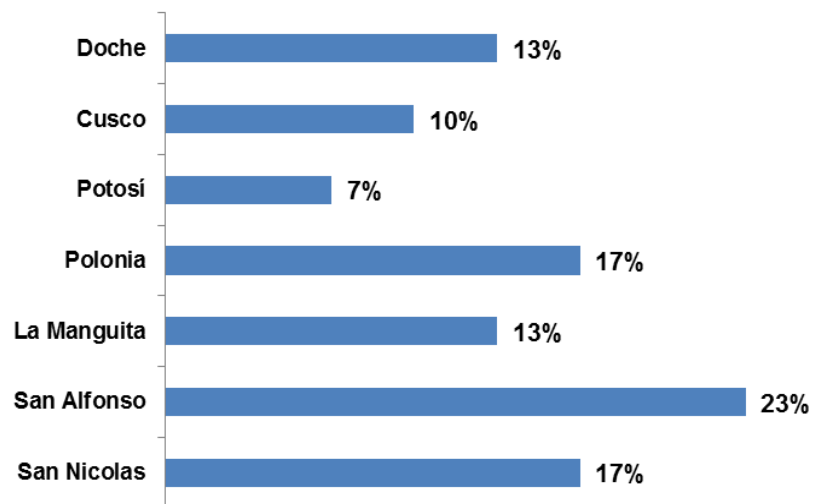


Figura 1. Zonas de estudio del Desierto de La Tatacoa

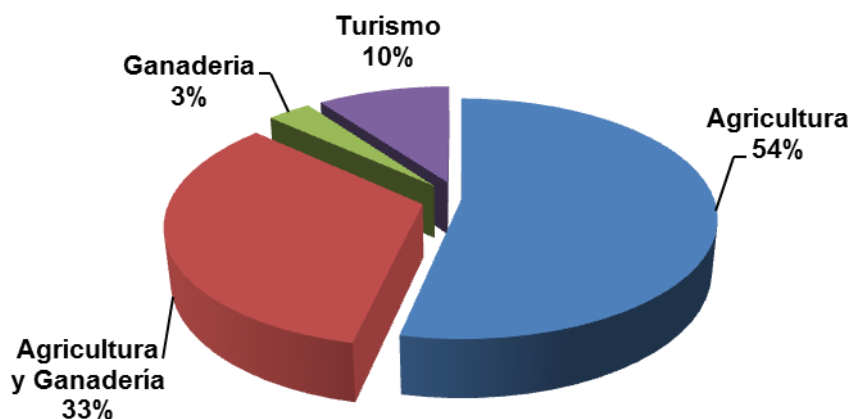
El 77 % de los entrevistados son hombres y 23 % son mujeres, todos jefes del hogar; la edad promedio es de 56 años y su nivel de escolaridad es el siguiente: el 57 %



realizó estudios de básica primaria, el 37 % son bachilleres, el 3 % son profesionales y un 3 % no tiene nivel de escolaridad.

En cuanto a las características de los terrenos, el 43 % de los entrevistados afirmó que no sabe qué tipo de suelo está presente en sus predios y el 57 % afirma que, de acuerdo a los estudios de suelos que se han realizado en sus fincas, a través de grupos asociativos o distritos de riego, los tipos de suelo presentes en las zonas de estudio corresponden a: arenoso, arcilloso, francoarenoso y francoarcilloso; estos tipos de suelo son medianamente fértiles, con una disminución de su fertilidad que tiende a ser más notoria en los últimos diez años, generada por el cambio climático.

En la figura 2 se muestran las principales actividades económicas adelantadas por los habitantes de los predios estudiados.

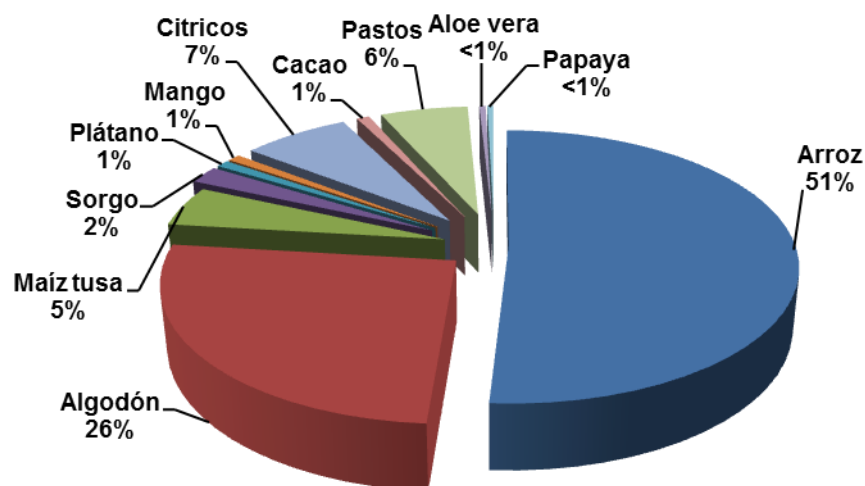


*Figura 2.* Actividades económicas realizadas en los predios estudiados

En las zonas de estudio del Desierto de la Tatacoa se realizan actividades de agricultura en un 54 %, agricultura y ganadería 33 %, ganadería un 3 % y turismo 10 %.

Las especies animales que se crían en estas zonas son ganado vacuno, ovino y caprino, destinadas al autoconsumo, venta de leche, venta de carne y preparación de comidas autóctonas de la ecoregión.

En la agricultura hay variedad de cultivos dependiendo de las condiciones del agrosistema presente en la zona. Los cultivos implementados en las zonas de estudio se muestran en la figura 3.



*Figura 3.* Cultivos implementados en las zonas de estudio

En las zonas estudiadas, los predios dedicados a las actividades de agricultura suman un total de 240 hectáreas (Ha), de las cuales el 51 %, equivalente a 122.5 Ha, se dedican al cultivo de arroz. Los agricultores están vinculados a asociaciones y/o al distrito de riego San Alfonso, y el sistema de riego implementado es por gravedad, con abastecimiento de agua proveniente de actividades de Bombeo en los ríos Villavieja y Magdalena. Otros cultivos relevantes implementados en la zona son: algodón con 62 Ha sembradas, cítricos 17 Ha, pastos para corte 14 Ha, maíz tusa 11.5 Ha, sorgo 5 Ha y otros

con pequeñas áreas sembradas como plátano, mango y cacao, 2 Ha cada uno, y papaya y aloe vera con 1 Ha sembrada. Los rendimientos en Ton.Ha-1 han disminuido en los últimos cinco años, debido a las sequías, implementación de semillas con mala adaptación al suelo y falta de manejo de las plagas.

Los ingresos mensuales promedio se ubican entre uno y tres salarios mínimos mensuales legales vigentes y el 70 % de los propietarios de los predios tienen actualmente un crédito para inversión en sus proyectos agropecuarios, con alguna entidad bancaria. En cuanto a disponibilidad de maquinaria, el 27 % de ellos posee en propiedad algún tipo de maquinaria, entre ellas: tractores, combinadas, sembradoras y motobombas.

En promedio, el valor económico mensual que estarían dispuestos a aportar por un período de un año, para realizar proyectos que mejoren la calidad ambiental de la ecoregión Desierto de la Tatacoa es de diez mil setecientos sesenta y siete pesos (\$10.767 equivalentes a 5 USD), el 100 % de los encuestados aceptó realizar algún tipo de aporte económico.

### **3.2 Valoración económica de la erosión de los suelos del Desierto de la Tatacoa**

En la tabla 3 se presentan los valores de los coeficientes  $\beta$  de las variables:  $\beta_0 = 3.151525$ ,  $\beta_1=0.189188$ ,  $\beta_2=0.083862$ ,  $\beta_3=0.176339$ ,  $\beta_4=0.029553$  y  $\beta_5=-0.031986$ . Reemplazando los coeficientes en la ecuación 3 se genera el modelo de estimación del “valor bruto de producción agrícola” que se muestra a continuación en la ecuación (4):

$$VBP = 3.15 + 0.189*ti + 0.083*ki + 0.176*li + 0.029*DES*ti + (-0.031)*DES + \epsilon_i \quad (4)$$

En el modelo obtenido se observa que el coeficiente de la variable DES tiene un efecto significativo de reducción, sobre la producción en los suelos del Desierto de la

Tatacoa; el coeficiente DES\*ti no es significativo, por lo que no habrá incidencia alguna sobre la elasticidad VBP/terreno a causa de la desertificación.

*Tabla 3.* Resultados obtenidos para el modelo de valoración económica por el método de mínimos cuadrados ordinarios

Variable	Coefficient $\beta$	Std. Error	t-Statistic	Prob.
X0	3.151525	0.408175	7.721015	0.0000
Ti	0.189188	0.070249	2.693091	0.0127
Ki	0.083862	0.044572	1.881515	0.0721
Li	0.176339	0.133605	1.319847	0.1993
DES*ti	0.029553	0.161958	0.182475	0.8567
DES	-0.031986	0.213871	-0.149558	0.8824
R-squared	0.514702	Mean dependent var		4.510637
Adjusted R-squared	0.413598	S.D. dependent var		0.293750
S.E. of regression	0.224945	Akaike info criterion		0.030935
Sum squared resid	1.214406	Schwarz criterion		0.311174
Log likelihood	5.535981	Durbin-Watson stat		1.727817

Al analizar el comportamiento de R-cuadrado se observa que su valor es mayor a 0.06 lo que indica que, en conjunto, las variables están afectando el “valor bruto de producción agrícola”. El valor de la probabilidad para la variable ti es 0.0127 que es menor a 0.05, lo que significa que esta variable, individualmente, no explica el comportamiento del “valor bruto de la producción agrícola”. Las variables ki, li, DES\*ti y DES, presentan valores de probabilidad mayores a 0.05, es decir que, individualmente, estas variables explican el comportamiento de “valor bruto de producción agrícola”.

En la tabla 4 se presenta los resultados para el modelo de “valor bruto de producción agrícola” sin tener en cuenta la desertificación (DES) y la variable de interacción entre el factor terreno y la desertificación (DES\*ti).

Al analizar el comportamiento de R-cuadrado se puede observar que su valor es mayor a 0.06 lo que indica que, en conjunto, las variables afectan el valor bruto de producción. El valor de la probabilidad para las variables  $t_i$ ,  $k_i$  y  $l_i$  son menores a 0.05, lo cual significa que, bajo estas nuevas condiciones del modelo, estas variables, individualmente, no explican el comportamiento del “valor bruto de la producción agrícola”.

*Tabla 4.* Resultados obtenidos para el modelo de valoración económica por el método de mínimos cuadrados ordinarios sin la variable de desertificación

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
X0	3.158621	0.382843	8.250438	0.0000
Ti	0.186787	0.061666	3.029011	0.0055
Ki	0.081027	0.039414	2.055811	0.0500
Li	0.195373	0.072581	2.691779	0.0123
R-squared	0.514010	Mean dependent var		4.510637
Adjusted R-squared	0.457934	S.D. dependent var		0.293750
S.E. of regression	0.216274	Akaike info criterion		-0.100975
Sum squared resid	1.216136	Schwarz criterion		0.085851
Log likelihood	5.514624	Durbin-Watson stat		1.708841

Comparando las probabilidades encontradas para cada caso, se puede afirmar que al incluir las variables DES y DES\* $t_i$  en el modelo de “valor bruto de producción agrícola”, los valores de probabilidad de  $t_i$ ,  $k_i$  y  $l_i$ , tienen un comportamiento diferente: la variable  $t_i$  varía en un 43.30 %,  $k_i$  tiene una variación de 69.34 %, y la variable  $l_i$  tiene una pequeña variación de 6.17 %. Esto indica que las variables  $t_i$  y  $k_i$  sumadas a DES y DES\* $t_i$  permiten explicar el comportamiento del “valor bruto de la producción agrícola”.

En estudios realizados por Morales (2012) en Chile, se muestra resultados similares en el análisis agregado donde se encontraron que los coeficientes DES y DES\*ti para cuatro zonas desérticas afectan negativamente la productividad de los predios localizados en zonas que presentan procesos de desertificación y muestran además diferencias significativas con aquellos que no sufren este fenómeno. Adicionalmente, calculan valores de R-cuadrado que oscilan entre 0.50 y 0.57, validando, al igual que en esta investigación, que la desertificación tiene un efecto negativo sobre el valor bruto de la producción agrícola.

#### **4. Conclusiones**

La confiabilidad calculada por medio del Alfa de Cronbach tiene un valor de 0,84 lo que indica que el instrumento diseñado para esta valoración económica posee una excelente consistencia interna, mide satisfactoriamente lo que se espera y recopila información adecuada de la muestra obtenida de la población de manera estable y confiable.

Existe un comportamiento inverso entre la variable DES correspondiente a la desertificación y el “valor bruto de producción agrícola”. El coeficiente de la variable DES tiene un efecto importante de reducción sobre la producción agrícola en los suelos del Desierto de la Tatacoa.

La interacción entre el factor terreno y la desertificación no tiene incidencia alguna sobre la elasticidad VBP/terreno a causa de la desertificación. Las variables del modelo afectan en conjunto al “valor bruto de producción agrícola”. El capital, terreno,

desertificación e interacción entre el factor terreno y desertificación, son variables que, individualmente, explican el valor bruto de la producción agrícola.

### Referencias

- Álvarez M., Estrada A., Montoya E y Melgar H. (2006). Validación de escala de la seguridad alimentaria doméstica en Antioquia, Colombia. Consultado el 30 de octubre de 2014. <http://www.scielo.org/pdf/spm/v48n6/a05v48n6.pdf>
- Castellanos C, M., Montauban, J. G., Rodríguez A. (2007). Aplicaciones sobre Prospectiva y Valoración Económico Ambiental. Editorial Academia, La Habana, Cuba.
- Castro J. K. and Ramírez V.E. (2009). Diagnóstico de los Niveles de Gestión de la Higiene y de la Calidad en Empresas del Sector Agroalimentario del Departamento del Huila. Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero Agrícola. Universidad Surcolombiana. Neiva. p. 117.
- Colombo S., y Calatrava R.J. (2003). Análisis económico de la erosión del suelo: valoración de los efectos externos en la cuenca del Alto Genil. Economía Agraria y Recursos Naturales. ISSN: 1578-0732. 3, 8: 21-40.
- Cristeche E., Penna J.A. (2008). Métodos de Valoración Económica de los Servicios Ambientales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estudios Socioeconómicos de la Sustentabilidad de los Sistemas de Producción y Recursos Naturales No. 3. ISSN 1851 - 6955. Enero. Argentina.
- Espinal L.S. (1990). Notas ecológicas sobre el Huila. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. p. 91.
- Henao S.G., Salazar C.M., y Solano R.S. (1999). Valoración económica aproximada de los costos ambientales de la cuenca del Río Las Ceibas en el Municipio de Neiva Huila. Tesis para optar al título de Especialista en Ingeniería Ambiental. Universidad Surcolombiana. Neiva. p. 197.
- Ledesma R., Molina G., y Valero P. (2002). Análisis de consistencia interna mediante Alfa de Cronbach: un programa basado en gráficos dinámicos. Consultado el 30 de octubre de 2014. <http://pepsic.bvs-psi.org.br/pdf/psicousf/v7n2/v7n2a03.pdf>.
- Meliá J.L., Pradilla J. F., Martí N., Sancerni M.D, Oliver A., y Tomás J. M. (1990). Estructura factorial, fiabilidad y validez del cuestionario de satisfacción s21/26: un instrumento con formato dicotómico orientado al trabajo profesional.

Consultado el 30 de octubre.  
[http://www.uv.es/meliajl/Research/Art\\_Satisf/ArtS21\\_26.PDF](http://www.uv.es/meliajl/Research/Art_Satisf/ArtS21_26.PDF).

- Minambiente (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial), (2003). Metodologías para la valoración económica de Bienes, Servicios Ambientales y Recursos Naturales. Bogotá D.C. Colombia.
- Morales C. (2012). Los costos de la inacción ante la desertificación y degradación de las tierras en escenarios alternativos de cambio climático. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago de Chile. p. 96.
- Muñoz P.A. (2004). La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. Revista Chilena de Historia Natural. 77: 139-156.
- Olaya A., Sánchez M., y Acebedo J. (2001). La Tatacoa Ecosistema estratégico de Colombia. Editorial Universidad Surcolombiana, Neiva. p. 158.
- UN. Organización de las Naciones Unidas. (1994). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Consultado el 31 de octubre de 2014: [http://www.cinu.org.mx/temas/des\\_sost/desert.htm](http://www.cinu.org.mx/temas/des_sost/desert.htm).
- Ortiz N.H. (2013). Identificación y descripción del avance del proceso de desertificación en el ecosistema estratégico desierto de la Tatacoa. Trabajo de grado para optar al Título de Magíster en Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos. Universidad Surcolombiana, Neiva. p. 81.
- Oviedo H.C., y Campo A. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. Consultado el 30 de octubre de 2014. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S003474502005000400009&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S003474502005000400009&script=sci_arttext).
- Saavedra J. (2005). El modelo EFQM como herramienta de mejora continua para el sistema cooperativista vitivinícola de la D.O. Valencia España. Tesis Doctoral, Departamento de Tecnología de alimentos - Universidad Politécnica de Valencia-España. pp. 111-168.
- Serna C.A. (2009). Valoración contingente de la erosión de los suelos de la zona cafetera central de Colombia. Cenicafé 60 (1): 86-104.
- Tarazona V.R. (2010). Evaluación económica de recursos naturales del Cerro La Judía mediante Valoración Contingente. Trabajo de grado para optar al Título de Economista. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. p. 73.



Vargas V.S. (2007). Caracterización de los factores Socioeconómicos de la desertificación en México. Proyecto realizado entre el Instituto Mexicano de tecnología del agua y la Secretaría del medio ambiente y recursos naturales. México. p. 102.

## Capítulo 4

### **Análisis comparativo de la Actividad respiratoria y el Índice de mineralización de la materia orgánica entre suelos de diferentes localidades de la zona bosque seco tropical del Departamento del Huila, Colombia.**

#### **Resumen**

Se desarrolló el análisis comparativo de la emisión de dióxido de carbono y el índice de mineralización de la materia orgánica entre suelos ubicados en tres localidades de la zona bosque seco tropical (bs-T) del departamento del Huila, Colombia, mediante la adaptación de un método estático para la estimación de la actividad biológica, medida por la respiración de los microorganismos presentes en los suelos. Se implementaron tres tratamientos de acuerdo a la procedencia de los suelos, se caracterizaron los suelos antes y después de realizar la prueba de seguimiento de respirometría, realizando a cada tratamiento mediciones de pH, carbono orgánico, capacidad de intercambio catiónico y temperatura, para evaluar el comportamiento de estas propiedades durante el proceso. Posteriormente se calculó el índice de mineralización de cada tipo de suelo a partir de los contenidos de carbono orgánico y de CO<sub>2</sub> liberados en la respiración. Los resultados mostraron que el comportamiento de la respiración con respecto al tiempo en los tratamientos, es diferente, con cambios en la respiración significativos y liberando la mayor cantidad de CO<sub>2</sub> en las primeras 48 horas. Así mismo, se obtuvo valores para el índice de mineralización que prueban que el potencial de degradación de los microorganismos del suelo, para contenidos medios y bajos de materia orgánica es bajo.

**Palabras clave:** Respirometría, índice de mineralización, materia orgánica.

## 1. Introducción

Según Murcia & Ochoa (2008), se define la respiración del suelo como la producción total de dióxido de carbono por unidad de área y tiempo, debido a la respiración de organismos edáficos, raíces, micorrizas y por la oxidación química de los compuestos de carbono. La respiración está regulada por factores bióticos y abióticos como temperatura, humedad del suelo, contenido de nutrientes, vegetación: estructura, actividad fotosintética o el desarrollo fenológico (Subke et al. 2006), así como por la biomasa de las raíces finas y microbiana (Adachi et al. 2006).

Se han utilizado diferentes técnicas, de tipo estático, de respirometría en los suelos. Estas técnicas se basan en la medición del consumo o producción de CO<sub>2</sub> o de oxígeno en un suelo (Sánchez et al. 2012). Dentro de las investigaciones adelantadas sobre la tasa de respiración en los suelos se encuentran las reportadas por Alzate & Campiño (2014), quienes realizaron una aproximación de la actividad microbiana del suelo, complementando este procedimiento con conteo de bacterias y hongos, encontrando una mayor cantidad de actividad microbiana en el tipo de suelo convencional, debido a sus condiciones de manejo; Ramírez & Moreno (2008), estimaron las tasas de respiración del suelo y sus componentes (respiración de raíces y de microorganismos) durante un año, en diez parcelas con una cámara de respiración de suelo conectada a un analizador de gases infrarrojo; Gasca (2010), evaluó los cambios en el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), la relación de absorción de sodio (RAS) y su influencia en la actividad y biomasa microbiana del suelo que permitió establecer que en

la actividad biológica ( $\text{CO}_2$ ) y en el C-biomasa microbiana resultaron incrementos significativos en el rango ideal para el establecimiento del cultivo de caña.

En la materia orgánica ocurren varios procesos químicos y biológicos, entre los que se destaca la mineralización a través de la respiración durante un tiempo determinado. Teniendo en cuenta que en la materia orgánica el mayor contenido de su peso es el carbono, la proporción de C- $\text{CO}_2$  producido por la respiración microbiana en función al C-Total de la materia orgánica corresponde al índice de mineralización del suelo (Rosales et al. 2008).

Chiriboga (2008), valoró la respiración de suelos en laboratorio (respiración basal) y la respiración en el campo mediante un analizador de gas infrarrojo, evaluando como factores, la humedad y temperatura del suelo en respuesta a la respiración; Ochoa & Urroz (2011), determinaron la actividad microbiana mediante la medición de la respiración basal del suelo ( $\text{CO}_2$  desprendido por unidad de tiempo), y el índice de mineralización orgánica en suelos de Nicaragua. Mendiara (2012), utilizó cromatografía de gases para la estimación de la respiración basal de los suelos y estudió el índice de mineralización como parámetro influyente en la actividad microbiana.

El objetivo de esta investigación fue realizar un análisis comparativo de la emisión de dióxido de carbono y el índice de mineralización de la materia orgánica entre suelos ubicados en tres localidades de la zona bosque seco tropical.

## **2. Metodología**

Se recolectaron muestras de suelo en tres predios ubicados en el departamento del Huila y se analizaron en los laboratorios de “Control de Calidad” y de “Suelos” de la

Universidad Surcolombiana de Neiva. Los tratamientos se definieron teniendo en cuenta la procedencia de los suelos, de la siguiente manera: Suelo del predio del corregimiento “El Caguán” (T1), suelo de un predio de la ecoregión “Desierto La Tatacoa” (T2) y suelo del predio de la ciudad de Neiva (T3), de cada material se recolectaron dos kilogramos conforme al protocolo de toma de muestras del IGAC (2014).

## **2.1 Caracterización inicial y final de los suelos objeto de estudio.**

Se determinaron las propiedades a los suelos antes y después de realizar la prueba de respirometría, para evaluar su comportamiento durante el proceso. A cada tratamiento se le realizó mediciones de: pH (según procedimiento de la NTC 5264), carbono orgánico (%CO), (NTC 5403 modificado), capacidad de intercambio catiónico (CIC), (NTC 5268 modificado), humedad (%) y temperatura (°C), (IGAC, 2006) y textura organoléptica (Torrente, 2014).

## **2.2 Respirometría de los suelos**

La estimación de la respiración del suelo para cada tratamiento se realizó adaptando el método estático empleado por Mora (2006) y validado por Ochoa & Urroz (2011), que consistió en depositar 200 gramos de suelo a capacidad de campo, en un recipiente transparente de volumen conocido y con cierre hermético. Se llevó a incubación en un cuarto oscuro a condiciones ambientales de 25 °C y 58 % de humedad relativa por un tiempo de 24 horas. Transcurrido este tiempo se colocaron dentro del recipiente dos vasos de precipitado, uno con 20 ml de NaOH a 0,2 N y otro con 20 ml de agua potable, este último para que la humedad del suelo permaneciera estable. Pasadas 24 horas se retiró el vaso con los 20 ml de NaOH 0,2 N, se adicionó una alícuota de 1ml de

BaCl<sub>2</sub> al 20 %, tres gotas de fenolftaleína y se llevó a titulación con HCl 0,1 N, verificando con un potenciómetro Schott Instruments que el pH llegara a 8,3. El mismo procedimiento anterior se realizó con un control sin muestra de suelo, en el que se depositó el vaso con 20 ml de NaOH 0,2 N. Cada vez que se retiró el vaso que contenía el NaOH, se reemplazó inmediatamente por uno nuevo con la misma cantidad de esta solución dentro del recipiente, el cual fue sellado herméticamente de nuevo.

Cada tratamiento se realizó por triplicado, se hicieron mediciones cada 24 horas durante un periodo de 96 horas. La concentración de CO<sub>2</sub> de las muestras se calculó por comparación con el control, expresando los resultados en gramos de CO<sub>2</sub>, utilizando la ecuación 1 (Mora, 2006).

$$CO_2 = \left(10 - \frac{n}{2}\right) * 0,00044 \quad (\text{gr de } CO_2) \quad (1)$$

Donde, n es la cantidad de ml de HCl 0,1 N consumidos en la titulación

### **2.3 Cálculo del Índice de mineralización de materia orgánica**

El índice de mineralización se determinó con el contenido de carbono orgánico y la concentración de CO<sub>2</sub>, expresados en gramos, de cada intervalo de tiempo, utilizando la ecuación 2 (Rosales et al. 2008).

$$\% \text{Índice de mineralización} = (\text{gr } CO_2 / \text{gr } CO) * 100 \quad (2)$$

Se realizó el análisis de varianza para establecer si la concentración de CO<sub>2</sub> es diferente en cada tipo de suelo, y si el índice de mineralización varía respecto al contenido de carbono orgánico presente en cada tratamiento.

### 3. Resultados

#### 3.1 Caracterización inicial de los suelos objeto de estudio

Al determinar la textura por el método organoléptico, se pudo apreciar que la muestra de suelo del tratamiento T1 manchó la mano, no se sentía áspera y se dejó moldear fácilmente, de acuerdo con la descripción realizada por la FAO (2014), este suelo se clasificó como Franco arcilloso. En los suelos de los tratamientos T2 y T3, las muestras mancharon la mano, pero no se dejaron moldear, tenían partículas que dejaron sensación áspera, estos suelos se clasificaron como Franco arenoso.

La textura de los suelos y las condiciones agroclimáticas de los predios estudiados se muestran en la tabla 1

*Tabla 1.* Condiciones agroclimáticas de los predios y textura “in situ”.

<b>Tratamiento</b>	<b>Textura</b>	<b>T (°C)</b>	<b>Precipitación (mm* año<sup>-1</sup>)</b>	<b>Altitud (msnm)</b>
T1	Franco arcilloso	24,93	1300	532
T2	Franco arenoso	25,00	1210	563
T3	Franco arenoso	27,70	1346	442

En la Figura 1 se muestran las características de los suelos antes de iniciar las pruebas de medición de la respiración, y en la Figura 2, las características de los suelos después de transcurridas 96 horas de la prueba de respirometría.

En las figuras 1 y 2 se observa que el pH de los suelos pasa de un valor neutro a ligeramente básico durante el tiempo de la prueba. Armado et al. (2009) realizó un estudio encontrando que el pH del suelo se correlaciona significativamente con algunas actividades enzimáticas, pero no se correlacionaba con la respiración basal de los suelos. Este resultado se debe a que existen microorganismos que se adaptan al pH del suelo, y

por lo tanto, no se puede asegurar que en los suelos con un determinado pH exista una mayor o menor actividad biológica. Arteta (2006) citado por Ochoa & Urroz (2011) afirma que muchos organismos y en particular los nitrificantes son inhibidos por pH ácido, mientras otros necesitan un pH bajo para mejorar su crecimiento poblacional. Igualmente, la alcalinidad conduce a comportamientos anormales en las colonias microbianas.

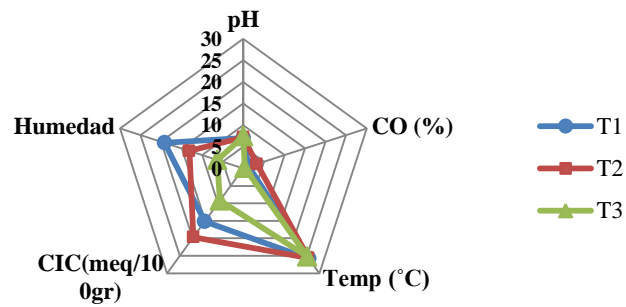


Figura 1. Caracterización de los suelos al iniciar el proceso de medición.

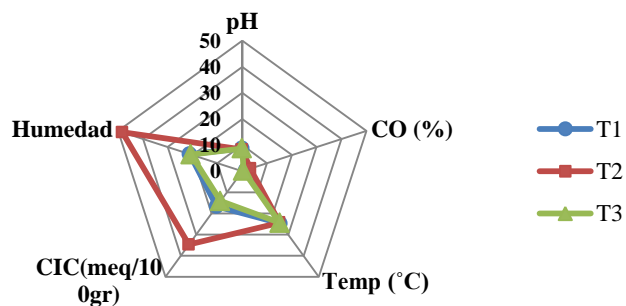


Figura 2. Caracterización de los suelos estudiados, transcurridas 96 horas de respirometría.



El contenido de materia orgánica (%CO), no tuvo cambios significativos en ninguno de los tratamientos, y se mantuvo estable, con contenidos de bajo a medio. Conforme a lo estudiado por Gasca et al. (2011), la fluctuación de la materia orgánica está ligada a las variaciones de actividad microbiana, ya que los organismos ejercen una labor rápida de descomposición de la materia orgánica dependiendo de las condiciones ambientales del suelo.

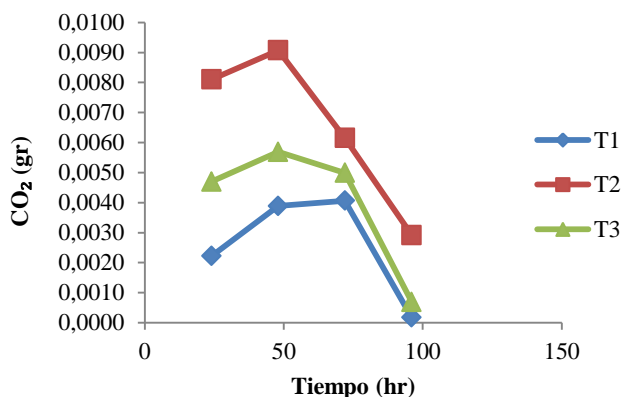
La capacidad de intercambio catiónico tuvo tendencia a aumentar en los tres tratamientos, en el tratamiento 2, se observa un aumento considerable desde 19,68 meq\*100gr-1 al iniciar las mediciones, hasta 34,74 meq\*100gr-1, al finalizar la prueba. Se encontró que en este tratamiento se obtuvo el mayor contenido de carbono orgánico (3,30 %CO), lo que indica que a mayor disponibilidad de materia orgánica en los suelos estudiados, se presentó mayor capacidad de intercambio catiónico.

La temperatura de los suelos se mantuvo estable en los tres tratamientos y presentó una leve disminución durante todas las pruebas.

### **3.2 Respirimetría de los suelos**

En la figura 3 se muestra la evolución de la concentración de CO<sub>2</sub> de los tratamientos respecto al tiempo. Se observa que T1 presenta la menor actividad respiratoria con valores promedio de 0,0026 gr de CO<sub>2</sub>. En T2 se presentó la mayor actividad respiratoria 0,0066 gr de CO<sub>2</sub>, lo que corrobora que suelos con condiciones de materia orgánica media y con alta humedad favorecen la proliferación de microorganismos y su actividad mineralizadora. Investigaciones adelantadas por García et al. (2003) y Peña (2004) demuestran la susceptibilidad de la respuesta de la actividad

microbiana a variaciones del manejo de los suelos, demostrando que los organismos son sensibles a los cambios de temperatura, de humedad, a los efectos de humedecimiento – secado y al contenido de materia orgánica con resultados que presentan las mismas tendencias a los de esta investigación.



*Figura 3.* Concentración de CO<sub>2</sub> emitida por los suelos a través del tiempo.

La actividad biológica de los tratamientos, medida por la concentración de CO<sub>2</sub> emitida por los microorganismos presentes en los suelos, tuvo un crecimiento en las primeras 48 horas en los tres tratamientos y posteriormente se presentó un decrecimiento de la misma en todos los tratamientos. En la tabla 2 se observa que el comportamiento de la respiración respecto al tiempo es diferente entre los tratamientos, con un nivel de significancia del 5 %, este cambio en la respiración es significativo indicando que los microorganismos presentes en los suelos liberaron CO<sub>2</sub>. En el tratamiento T2 hubo una disminución del contenido de materia orgánica al final del proceso, lo que indica que los microorganismos presentes contribuyeron a la descomposición de la materia orgánica del suelo.

Tabla 2. Análisis de varianza de la emisión de CO<sub>2</sub> respecto al tiempo entre los tratamientos.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Prob	Valor crítico para F
Tratamientos	3,2345E-05	2	1,6172E-05	26,10	0,036	19
Tiempo	7,6358E-06	1	7,6358E-06	12,32	0,072	18,5128205
Error	1,2391E-06	2	6,1955E-07	-	-	-
Total	4,122E-05	5				

### 3.3 Índice de mineralización de materia orgánica

El cálculo del índice de mineralización se realizó posterior al análisis de comportamiento de la respiración de los tratamientos. Estos ensayos permitieron evaluar las variaciones de los factores bióticos y abióticos sobre la descomposición de la materia orgánica. A través de los estudios de mineralización se puede evaluar la susceptibilidad y la velocidad de descomposición de compuestos orgánicos naturales y sintéticos (Ochoa & Urroz, 2011).

En la figura 4 se muestra el comportamiento del índice de mineralización de los tratamientos tanto al iniciar el proceso de respirometría como al terminarlo. Allí se muestra que los índices de mineralización más altos se dan en el T3 con valores superiores al 100 %, este índice presenta resultados similares con investigaciones realizadas por Acuña (2006), quien encontró que en los suelos de mayor contenido de materia orgánica el índice de mineralización es menor debido a la acumulación del sustrato orgánico; Gómez (2000) afirma que un suelo rico en materia orgánica y actividad microbiana es indicador de alta fertilidad y disponibilidad de nutrientes. La variedad de

microorganismos utiliza la energía del carbono para su metabolismo, por lo que existe una relación directa entre microorganismos, fertilidad del suelo y contenido de materia orgánica en el suelo.

Según Zibilske (1994), citado por Ochoa & Urroz (2011), determinar el índice de mineralización de un suelo permite encontrar información referente al estado fisiológico o actividad metabólica de la población microbiana presente, la biomasa y la contribución de los microorganismos al flujo total de carbono del suelo. Teniendo en cuenta esto, los valores obtenidos en el índice de mineralización indican que el potencial de degradación de los microorganismos del suelo, para contenidos medios y bajos de materia orgánica, fuentes de alimento en estos procesos, no es metabolizable, por lo tanto su actividad es baja. Conforme a Ceccanti & García (1994), es la fracción lábil de la materia orgánica la que induce a un aumento de la actividad microbiana. La fracción lábil contribuye a mantener una elevada actividad microbiológica, lo que favorece la liberación de nutrientes y la degradación de compuestos contaminantes.

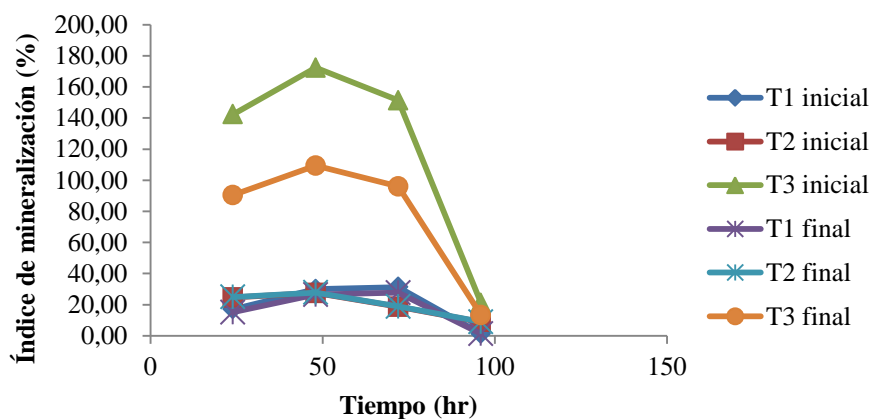


Figura 4. Comportamiento del índice de mineralización respecto al tiempo

El comportamiento de las curvas del índice de mineralización de los diferentes tratamientos conserva la misma tendencia y no presentan diferencias significativas entre ellos (Tabla 3). Los índices de mineralización (IM) de los suelos presentan diferencias significativas, lo que indica que a pesar de que la actividad de metabolización de la materia orgánica es baja, hubo actividad de la fracción lábil que permitió que los microorganismos presentes en el suelo generaran CO<sub>2</sub> medidos en respiración. El tratamiento 2 muestra un comportamiento estable con un índice de mineralización bajo y %CO medio, con una tasa de respiración más alta que en los otros dos tratamientos, debido a que los microorganismos presentes en este tratamiento utilizan gran cantidad de energía para descomponer la materia orgánica que poseen las muestras objeto de estudio.

*Tabla 3.* Análisis de varianza del índice de mineralización respecto al tiempo.

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Prob</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Tratamientos	13261,5483	6	2210,25806	1,53	0,307	4,28386571
IM	19188,7907	1	19188,7907	13,32	0,010	5,98737761
Error	8637,12434	6	1439,52072	-	-	-
Total	41087,4634	13				

#### **4. Conclusiones**

La concentración de CO<sub>2</sub> emitida por los microorganismos presentes en los tratamientos estudiados tuvo crecimiento en las primeras 48 horas. El comportamiento de la respiración entre los tratamientos con respecto al tiempo fue diferente. En el tratamiento T2 hubo una disminución de la materia orgánica al final del proceso, lo que

indica que los microorganismos presentes contribuyeron a la descomposición de la materia orgánica del suelo.

Los índices de mineralización más altos se dan en el tratamiento T3 con valores superiores al 100 %. Los valores obtenidos en el índice de mineralización, para contenidos medios y bajos de materia orgánica, indican que el potencial de degradación de los microorganismos en estos tipos de suelo es bajo

El tratamiento 2 mostró un índice de mineralización bajo y %CO medio, con una tasa de respiración más alta que en los otros dos tratamientos, lo que indica una mayor actividad de los microorganismos presentes sobre el sustrato de materia orgánica que poseen las muestras de este tratamiento.

## REFERENCIAS

- Acuña, O., Peña, W., Serrano, E., Pocasangre, L., Rosales, F., Delgado, E., Trejos, J., y Segura, A. 2006. La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos. Memorias de Acorbat, Santa Catarina, Brasil. Fecha del evento 20 al 26 de Octubre.
- Adachi, M., Bekku, Y. S., Rashidah, W., Okuda, T. y Koizumi, H. 2006. Differences in soil respiration between tropical ecosystems. *Applied Soil Ecology* 34, 258-265.
- Alzate, J.D., Campiño, D. 2014. Actividad microbiana de suelos con manejo orgánico y convencional. Universidad Tecnológica de Pereira. Pp 69. Pereira, Colombia.
- Armado, A., Contreras, F., García, P., Paolini, J. 2009. Correlación de actividades enzimáticas con la respiración basal en suelos cacaoteros del occidente venezolano. *Avances en Química*, 4(2), 73-77. Universidad de Los Andes de Mérida. Mérida, Venezuela.
- Ceccanti, B. y García, C. 1994. Coupled chemical and biochemical methodologies to characterize a composting process and the humic substances. En Senesi N, Miano TM (Eds). *Humic substances in the Global Environment and Implications on Human Health*. Elsevier. Amsterdam, Holanda. pp. 1279-1284.

- FAO. 2014. El Suelo, Diferencias Según Su Aspecto Físico Y Químico. Consultado el 28 de noviembre de 2014. <http://www.fao.org/docrep/009/ah645s/AH645S04.htm>
- García, C.; Gil-Sotres, F.; Hernández, T.; Trasar-Cepeda, C. 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Mundi-Prensa, Madrid. 371 p.
- Gasca, C.A. 2010. Cambio en el PSI y la RAS de un suelo y su influencia en la actividad biológica y la biomasa microbiana. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en ciencias agropecuarias línea de investigación en suelos. Universidad Nacional de Colombia. Pp 66, Palmira, Colombia.
- Gasca, C., Menjivar, J., Torrente, A. 2011. Cambios en el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y la relación de absorción de sodio (RAS) de un suelo y su influencia en la actividad y biomasa microbiana. Acta agronómica. Volumen 60 No 1. Pp 27-38. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Gómez, A. 2000. Elaboración de abonos orgánicos con bajos insumos en las condiciones del productor rural. Memoria del primer seminario de investigación científica y tecnológica sobre el istmo de los Estados de Veracruz, Chiapas, Tabasco y Oaxaca". ECOSUR, Unidad Tabasco.
- Instituto Colombiano de Normas y Técnicas y Certificación. 2008. Calidad de suelo. Determinación del pH. NTC 5264. Bogotá, Colombia.
- Instituto Colombiano de Normas y Técnicas y Certificación. 2013. Calidad de suelo. Determinación del carbono orgánico. NTC 5403. Bogotá, Colombia.
- Instituto Colombiano de Normas y Técnicas y Certificación. 2014. Calidad de suelo. Determinación de la capacidad de Intercambio catiónico. NTC 5268. Bogotá, Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. Laboratorio de suelos, 2014. ¿Cómo realizar la toma de muestras para suelos? Consultado el 1 de diciembre de 2014, <http://www.igac.gov.co>, Bogotá, Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. 2006. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. Pp 375-372. Bogotá, Colombia.
- Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, 8(1), 68-96.

- Mendiara, S. 2012. Efecto de los usos del suelo en la emisión de dióxido de carbono del suelo a la atmósfera en un agroecosistema semiárido del Valle del Ebro. Universidad Escuela Politécnica Superior. Sevilla, España.
- Murcia, M., Ochoa, M. 2008. Respiración del suelo en una comunidad sucesional de pastizal del bosque Altoandino en la Cuenca del Río Pamplonita, Colombia. *Revista Caldasia*. Volumen 30 No 2. Pp 337-353. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Mora, J. R. 2006. La Actividad Microbiana: Un Indicador Integral de la Calidad del Suelo. *Revista Luna azul*. Pp 6. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.
- Ochoa, C. y Urroz, F. 2011. Determinación de los indicadores biológicos de suelos agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. León, Nicaragua.
- Peña, W. 2004. Los suelos desarrollados sobre serpentinitas y su relación con la flora endémica. Índice bioquímico y metales. Tesis doctoral, Universidad de Santiago de Compostela y CSIC, España. 404 p.
- Ramírez, A y Moreno, F. 2008. Respiración microbial y de raíces en suelos de bosques tropicales primarios y secundarios (Porce, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. Vol 61 No 1. Pp 4381-4393. Medellín, Colombia.
- Rosales, F., Pocasangre, L., Trejos, J., Serrano, E., y Peña, W. 2008. Guía de diagnóstico de la calidad y salud de suelos bananeros. Edit. Bioversity international. Costa Rica
- Sánchez, V., Fernández, F.J., Rodríguez, L. y Villaseñor, J. 2012. Respiration indices and stability measurements of compost through electrolytic respirometry. *Journal of Environmental Management* 95 S134 - S138.
- Subke, J.A., Inghima, I. y Cotrufo M.F. 2006. Trends and methodological impacts in soil Co<sub>2</sub> efflux partitioning: a metanalytical review. *Global Change Biol.* 12: 921-943.
- Torrente, A. 2014. Manual de laboratorio Análisis físico del suelo. Laboratorio de suelos de la Universidad Surcolombiana de Neiva. Pp 10-15. Neiva, Colombia.
- Universidad Surcolombiana, Gobernación del Huila y Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena. (2006). Formulación del Plan de Manejo y Declaratoria como Área natural protegida del Desierto de La Tatacoa. Convenio interadministrativo No. 1071-200 de 2005. Gobernación del Huila- CAM-USCO. Vol. II. Universidad Surcolombiana. Neiva. Colombia. pp. 88-117.



### Lista de referencias

- Acosta-Galvis, A. R. (2012). Anfibios de los enclaves secos en la ecorregión de La Tatacoa y su área de influencia, alto Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana*, 13, 182.
- Azqueta, D. (1994). Valoración económica de la calidad ambiental. Madrid, Editorial Mc. Graw Hill.
- Bucher, E., Torres, P., & Abril, A. 2003. Litter quality and litter removal by the native fauna in the Chaco woodland of Argentina. *J. Trop. Ecol.* 19:337-341.
- Calvachi, B. (2012). Los ecosistemas semisecos del altiplano cundiboyacense, bioma azonal singular de Colombia, en gran riesgo de desaparición. *Mutis*, 2(2), 26-59.
- Castro, S. (2012). Análisis florístico y fitogeográfico de ambientes asociados al complejo de ciénagas de Zapatosa (Cesar) en el Caribe colombiano. Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de Magister en Ciencias Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia.
- Cortés, A. (2002). El suelo: Sustento de la Biodiversidad. *Revista La Tadeo* No 67 primer semestre de 2002. Universidad Tadeo Lozano, Bogotá (Colombia)
- Delgado-Correal, C., Hernández, J., & Castaño, G. (2012). Computational study of atmospheric transfer radiation on an equatorial tropical desert (La Tatacoa, Colombia). arXiv preprint arXiv:1207.6827.
- Espinal, L.S. & Montenegro, E. (1977). Formaciones vegetales de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, pp 201.
- Espinal, L. (1990). Notas ecológicas sobre el Huila. Universidad Nacional de Colombia. Medellín (Colombia). pp. 13-54.
- Fensholt, R., Langanke, T., Rasmussen, K., Reenberg, A., Prince, S. D., Tucker, C. & Wessels, K. (2012). Greenness in semi-arid areas across the globe 1981–2007—An Earth Observing Satellite based analysis of trends and drivers. *Remote Sensing of Environment*, 121, 144-158.
- Flores, B., Florentino, A., Ferrer, J., Valera, Á., & Maza, I. (2010). Áreas ambientalmente sensibles a la desertificación en La Microcuenca Callecitas, Estado Guárico Environmentally Sensitive Areas To Desertification In The Callecitas Microbasin, State Of Guarico. *Agronomía Trop*, 60(3), 241-253.

- Forero, R (2005). Agricultura y ganadería tropical. Boletín Electrónico LEAD-FAO. 5 (1)
- Guerrero, J., Sarmiento, G., & Narrete, R. E. (2000). The stratigraphy of the W side of the Cretaceous Colombian Basin in the Upper Magdalena Valley. Reevaluation of selected areas and type localities including Aipe, Guaduas, Ortega, and Piedras. *Geología Colombiana-An International Journal on Geosciences*; Vol. 25 (2000); 45-110 *Geología Colombiana*; Vol. 25 (2000); 45-110 2357-3767 0072-0992.
- Herrmann, S. M., & Tappan, G. G. (2013). Vegetation impoverishment despite greening: A case study from central Senegal. *Journal of Arid Environments*, 90, 55-66.
- Holdridge L. R. (1967). Life Zone Ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. (Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa: «Ecología Basada en Zonas de Vida», 1a. ed. San José, Costa Rica: IICA, 1982).
- Hori, Y., Stuhlberger, C. & Simonett, O. (2015). Desertificación una síntesis visual. Recuperado el 03 de junio de 2015: <http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/onu/issue06/1128-spa.pdf>
- Instituto Alexander von Humboldt. (1998). Programa Inventario de la Biodiversidad, P. D. I., de Exploraciones, G., & GEMA, M. A. El Bosque seco Tropical (Bs-T) en Colombia.
- Losada-Prado, S., & Molina-Martínez, Y. G. (2011). Avifauna del Bosque Seco Tropical en el departamento del Tolima (Colombia): análisis de la comunidad. *Caldasia*, 33(1), 271-294.
- Llanos, F. (2001). Vegetación del Desierto de la Tatacoa. Capítulo del Libro: La Tatacoa Ecosistema Estratégico de Colombia. Compilado por: Olaya, A., Sánchez, M., Acebedo, J. C (2001). Editorial Universidad Surcolombiana. Universidad Surcolombiana. Neiva. Colombia. pp. 81-87.
- Malagón, D. (2003). Ensayo sobre tipología de suelos colombianos-Énfasis en génesis y aspectos ambientales. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*, 27(104), 319-341.
- Mendoza, C. H. (1999). Estructura y riqueza florística del bosque seco tropical en la región Caribe y el valle del río Magdalena, Colombia. *Caldasia*, 21(1), 70-94.
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA. Vol. 1. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe.

- Olaya. A. (1995). El espacio del hombre huilense. Academia Huilense de Historia. Historia general del Huila. Neiva. Colombia. I: 33-87.
- Olaya A & Sánchez. M. (2001). Grandes ríos y sequías: paradoja del Desierto de la Tatacoa. Capítulo del Libro: La Tatacoa Ecosistema Estratégico de Colombia. Compilado por: Olaya, A., Sánchez, M., Acebedo, J. C (2001). Editorial Universidad Surcolombiana. Universidad Surcolombiana. Neiva. Colombia. pp. 69-79.
- Olsson, L., Eklundh, L., & Ardö, J. (2005). A recent greening of the Sahel—trends, patterns and potential causes. *Journal of Arid Environments*, 63(3), 556-566.
- Ortíz, N. H. & Polanía, R. (2013). Identificación y descripción del avance del proceso de desertificación en el ecosistema estratégico desierto de La Tatacoa. Periodo: 1975 a 1993. *Revista Ingeniería y Región*, 10, 149-158.
- Ortíz, N. H. (2013). Identificación y descripción del avance del proceso de desertificación en el ecosistema estratégico Desierto de La Tatacoa. Trabajo de Grado para optar al título de Magíster en Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos. Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia p 81.
- Osorio, J. D., & Correa, F. J. C. (2004). Valoración económica de costos ambientales: Marco conceptual y métodos de estimación. *Semestre económico*, 7(13), 159-196.
- Rangel-C, O., & Franco R, P. (1985). Observaciones fitoecológicas en varias regiones de vida de la cordillera Central de Colombia. Caldasia.
- Rodríguez, E. (2015). La Tatacoa: Ecosistema Excepcional en los Andes Colombianos. Recuperado el 03 de junio de 2015: [www.quiramiedios.com/.../La+Tatacoa+“Ecosistema+Excepcional+en+los+andes+colombianos](http://www.quiramiedios.com/.../La+Tatacoa+“Ecosistema+Excepcional+en+los+andes+colombianos)
- Rubio, J. & Brochet, E. 1998. Desertification indicators as a diagnosis criteria for risk assessment in Europe. *Journal of Arid Environments*. 39(2):113-120.
- Sánchez. M. (2001). Significado Paleontológico del Desierto de la Tatacoa. Capítulo del Libro: La Tatacoa Ecosistema Estratégico de Colombia. Compilado por: Olaya, A., Sánchez, M., Acebedo, J. C (2001). Editorial Universidad Surcolombiana. Universidad Surcolombiana. Neiva. Colombia. pp. 55-68.
- Sánchez. M & Olaya A. (2001). Fauna del Desierto de la Tatacoa. Capítulo del Libro: La Tatacoa Ecosistema Estratégico de Colombia. Compilado por: Olaya, A.,

- Sánchez, M., Acebedo, J. C (2001). Editorial Universidad Surcolombiana. Universidad Surcolombiana. Neiva. Colombia. pp. 89-100.
- Sarmiento, G. (1975). The dry plant formations of South America and their floristic connections. *Journal of Biogeography*, 233-251.
- Setoguchi, T., Shigehara, N., Rosenberger, A., & Cadena G, A. (1984). Primate fauna from the Miocene La Venta, in the Tatacoa Desert, department of Huila, Colombia. *Caldasia*, 15(71-75).
- Torres, P., Abril, A & Bucher, E. 2005. Microbial succession in litter decomposition in the Semi-arid Chaco woodland. *Soil Biol. Biochem.* 37:49-54.
- Vargas. R. (2001). Geología del Desierto de la Tatacoa. Capítulo del Libro: La Tatacoa Ecosistema Estratégico de Colombia. Compilado por: Olaya, A., Sánchez, M., Acebedo, J. C (2001). Editorial Universidad Surcolombiana. Universidad Surcolombiana. Neiva. Colombia. pp. 41-49.
- Villaroel, C., Brieva, J., & Cadena, A. (2012). Descubrimiento de mamíferos fósiles de edad Lujanense (Pleistoceno tardío) en el " Desierto" de La Tatacoa (Huila, Colombia). *Caldasia*, 16(76), 119-125.

## **Vita**

### ***Jennifer Katusca Castro Camacho***

Correo: jeka141285@hotmail.com, jenniferkatusca.castro@usco.edu.co

#### **Estudios Realizados:**

Pregrado: Título obtenido “Ingeniero Agrícola”, Universidad Surcolombiana, Neiva, fecha de grado 30 de Octubre de 2009.

Postgrado: Candidata a “Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental”, Universidad Surcolombiana, Neiva. Semestres aprobados: cuatro (4).

#### **Ocupación:**

Docente tiempo completo ocasional Universidad Surcolombiana. Programa de Ingeniería Agrícola. Desde febrero de 2015 - actual

Investigadora Grupo de Investigación AGROINDUSTRIA USCO Universidad Surcolombiana. Desde marzo 2009 – actual

#### **Ponencias:**

Conferencista: “Second international workshop gestión de inocuidad sector agroalimentario”. Dictador por: Universidad Surcolombiana. Intensidad: 16 Horas. Del 27 al 28 de Agosto de 2009.

#### **Investigación:**

“Determinación de indicadores de desarrollo fisiológico y de madurez en guayaba pera “*Psidium guajava* sv”, realizado en el Huila, con recursos provenientes de la convocatoria interna para grupos de investigación reconocidos y categorizados por COLCIENCIAS de la Universidad Surcolombiana, 2010.

“Diagnóstico de los niveles de gestión de la higiene y de la calidad en empresas del sector agroalimentario en el departamento del Huila”, realizado en el Huila, con recursos provenientes de la convocatoria interna para grupos de investigación reconocidos y categorizados por COLCIENCIAS de la Universidad Surcolombiana, 2009.

**Publicaciones:**

“Evaluación de prerequisites en el sistema HACCP en empresas del sector agroalimentario”. Revista EIA. ISSN 1794-1237 No. 15, p 33-43, julio de 2011. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia).

“Fisiología y atributos de calidad de la guayaba “pera” (*Psidium guajava* cv.) en poscosecha”. Revista de Ingeniería. ISSN 0121-4993 / E-ISSN 2011-004 No. 37, p 26-30. Sección Técnica, noviembre de 2012. Universidad de Los Andes. Bogotá D.C. (Colombia).

“Determinación del color del exocarpio como indicador de desarrollo fisiológico y madurez en guayaba pera (*Psidium guajava* cv. Guayaba pera), utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes”. Revista EIA. ISSN 1794-1237 No. 19, p 78-88, julio de 2013. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia).

“Análisis comparativo de los sistemas de gestión ambiental para empresas agroindustriales”. Revista Ingeniería y Región. ISSN 1657-6985 No. 11, 117-128, junio de 2014. Universidad Surcolombiana, Neiva (Colombia).

“Determination of the phytogeographic affinity index of the tatacoa dessert eco-region with other colombian dry tropical woodland zones”. Journal Of Engineering And

Applied Sciences ISSN: 1819-6608 ed: v.10 fasc.6 p.2329 - 2334, Abril de 2015. En:

Estados Unidos

“Model of economic value for the dessertification process of the “Tatacoa Dessert”. Journal Of Engineering And Applied Sciences ISSN: 1819-6608 ed: v.10 fasc.8, Mayo de 2015. En: Estados Unidos