



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



RETORNO POTENCIAL DE NUTRIENTES Y TASA DE DESCOMPOSICIÓN DE  
HOJARASCA POR PARTE DE HONGOS CELULOLÍTICOS EN EL MANANTIAL DE  
CAÑAVERALES – LA GUAJIRA, COLOMBIA



AUTOR(ES):

DANIEL CAMILO CARDONA MARTÍNEZ  
CAMILO JOSÉ SÁNCHEZ ARCIA

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR – CESAR

2023

[www.unicesar.edu.co](http://www.unicesar.edu.co)

Campus Universitario Sabanas, Of. 105 D. PBX (57) (5) 5848217



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



RETORNO POTENCIAL DE NUTRIENTES Y TASA DE DESCOMPOSICIÓN DE  
HOJARASCA POR PARTE DE HONGOS CELULOLÍTICOS EN EL MANANTIAL DE  
CAÑAVERALES – LA GUAJIRA, COLOMBIA



**AUTOR(ES):**

**DANIEL CAMILO CARDONA MARTÍNEZ  
CAMILO JOSÉ SÁNCHEZ ARCIA**

**DIRECTORA:**

**SANDY PINTO  
MsC. GESTION AMBIENTAL**

**CODIRECTOR:**

**HAROLD ENRIQUE GONZALEZ FRAGOZO  
MsC. CIENCIAS AMBIENTALES**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y TEGNOLOGICAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR – CESAR**

**2023**

[www.unicesar.edu.co](http://www.unicesar.edu.co)

**Campus Universitario Sabanas, Of. 105 D. PBX (57) (5) 5848217**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar esta tesis primeramente a Dios, que jamás me dejó solo, quien siempre estuvo presente en cada una de las pruebas que se me presentaron en el camino, a mis padres y a mi hermana, quienes estuvieron conmigo en este proceso de aprendizaje, por no dejar de apoyarme un solo momento, este logro es totalmente suyo. A mi compañero de tesis que siempre fue ayuda idónea para sacar adelante este proyecto, también a mis compañeros de carrera que de una u otra forma estuvieron pendientes de mí, apoyándome en momentos en los cuales los necesité.

En primer lugar, dedicarle mi tesis de grado a Dios que siempre me acompañó en este proceso y nunca soltó mi mano; dedicársela a mis padres que fueron mi más grande apoyo en todo este camino y mi más grande motivación y ejemplo de superación, también a mi hermano, a mis familiares, a mi novia que siempre fue mi compañera en los duros momentos por los que atravesé, a mi amigo y compañero de tesis que nunca nos dimos por vencidos , y a todas las personas que aportaron ayuda a lo largo de este proceso.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias infinitas primeramente a Dios que nos dio la fortaleza necesaria para afrontar este reto y culminarlo exitosamente, a mis profesores por cada una de las bases puestas en mi y que hoy me ayudan a ser un profesional, a mis directores y evaluadores por su empeño en hacer de nosotros unas personas correctas y resilientes, por último, al alma mater, que me formo como profesional, aquí les dejamos esta tesis que servirá como base investigativa a las nuevas generaciones.

En primer lugar, mi agradecimiento a Dios porque sin su ayuda nada de esto fuese posible, agradecimientos de por vida a mis padres por inculcarme buenos valores y por sus enseñanzas, agradezco también a todos los profesores que hicieron parte de mi proceso de formación académico por aportar sus conocimientos de forma íntegra, agradecimiento a la institución por abrirme sus puertas y ser parte de ella, y de igual forma agradezco a todos mis compañeros de aula con los que compartí conocimientos.

## RESUMEN

Este proyecto de investigación se basó en la determinación del retorno potencial de nutrientes y la tasa de descomposición de hojarasca generada por las especies nativas y exóticas en el manantial de cañaverales ubicado en el departamento de la Guajira, durante periodos de sequía y lluvia. En estos dos periodos antes mencionados se procedió a instalar trampas para recolectar la hojarasca en intervalos de tiempo previamente establecidos y luego proceder a la fase de análisis en el laboratorio para la identificación de los hongos celulolíticos presentes en el proceso de descomposición de dicha hojarasca aportada por las especies vegetales establecidas.

Por otra parte, se estableció de igual modo, los patrones temporales de riqueza, abundancia, biomasa y potencial enzimático de los hongos celulolíticos en función de la degradación de dicha hojarasca. Por último, procedimos a estimar la tasa de descomposición y retorno aportada por las comunidades fúngicas previamente antes identificadas durante los dos periodos establecidos (sequía y lluvia).

## **ABSTRACT**

This research project was based on the determination of the potential return of nutrients and the decomposition rate of litter generated by native and exotic species in the reed spring located in the department of La Guajira, during periods of drought and rain. In these two aforementioned periods, traps were installed to collect the litter at previously established time intervals and then proceed to the analysis phase in the laboratory to identify the cellulolytic fungi present in the decomposition process of said litter provided by established plant species.

On the other hand, establish in the same way, the temporary patterns of richness, abundance, biomass and enzymatic potential of cellulolytic fungi based on the degradation of said litter. Finally, we proceeded to estimate the rate of decomposition and return provided by the previously identified fungal communities during the two established periods (dry and rainy).

## TABLA DE CONTENIDO

TITULO DEL PROYECTO .....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
2. JUSTIFICACIÓN.....	7
3. OBJETIVOS .....	9
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	9
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
4. MARCO REFERENCIAL.....	10
4.1 ANTECEDENTES .....	10
4.2 MARCO TEÓRICO .....	16
4.3 MARCO CONCEPTUAL .....	27
4.4 MARCO CONTEXTUAL.....	30
4.5 MARCO LEGAL .....	32
5. MARCO METODOLOGICO.....	35
5.1 LINEA Y SUBLINEA DE INVESTIGACION.....	35
5.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACION .....	35
5.3 ALCANCE DE LA INVESTIGACION.....	35
5.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO .....	36
5.5 MUESTRA POBLACIONAL .....	39
5.6 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	41
5.7.1.1 ACTIVIDAD 1.1: Elección de los puntos estratégicos, toma de muestras.....	43
5.7.1.2 ACTIVIDAD 1.2: AISLAMIENTO DE HONGOS CELULOLITICOS.....	43
5.7.2 ETAPA 2: ESTABLECER LOS PATRONES TEMPORALES DE RIQUEZA, ABUNDANCIA, BIOMASA Y POTENCIAL ENZIMÁTICO DE HONGOS CELULOLÍTICOS EN FUNCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE LA HOJARASCA APORTADA POR LAS ESPECIES NATIVAS Y EXÓTICAS.....	45

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

5.7.3 ETAPA 3: ESTIMAR LAS TASAS DE DESCOMPOSICIÓN Y RETORNO DE NUTRIENTES DE LA HOJARASCA GENERADA POR ESPECIES NATIVAS Y EXÓTICAS ASOCIADAS CON LAS COMUNIDADES FÚNGICAS DURANTE EVENTOS DE LLUVIA Y SEQUÍA. ....	47
5.7.3.1 ACTIVIDAD 3.1: ESTIMACIÓN DE LAS TASAS DE DESCOMPOSICIÓN DE LA HOJARASCA. ....	47
6. RESULTADOS Y ANALISIS.....	48
6.1. BIOMASA .....	51
6.2. ABUNDANCIA .....	53
6.3 RIQUEZA .....	56
6.4 TASA DE DESCOMPOSICION DE HOJARASCA .....	61
6.5 RETORNO DE NUTRIENTES.....	65
7 CONCLUSIONES.....	67
8 RECOMENDACIONES.....	69
9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	70

**LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Servicios de los ecosistemas fluviales .....	<b>18</b>
<b>Tabla 2.</b> Normatividad Vigente Colombiana.....	<b>32</b>
<b>Tabla 3.</b> Especies representativas de las formaciones vegetales establecidas en el manantial de Cañaverales, Guajira – Colombia. ....	<b>37</b>
<b>Tabla 4.</b> Especies utilizadas en la muestra poblacional. ....	<b>40</b>
<b>Tabla 5.</b> Hongos presentes en la descomposición de la hojarasca . ....	<b>48</b>

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

<b>Tabla 6.</b> Propiedades Fisicoquímicas del horizonte A del suelo del manantial de Cañaverales. .	<b>49</b>
<b>Tabla 7.</b> Determinación de biomasa de especies de hongos celulolíticos en época de lluvia y sequía.....	<b>51</b>
<b>Tabla 8.</b> Patrón temporal de abundancia en época de lluvia y sequía. ....	<b>53</b>
<b>Tabla 9.</b> Patrón temporal de riqueza en época de lluvia y sequía. ....	<b>57</b>
<b>Tabla 10.</b> Tasa de degradación de Hojarasca aportada por especies nativas y exóticas durante época de lluvia. ....	<b>62</b>
<b>Tabla 11.</b> Retorno de nutrientes de la hojarasca en el manantial de Cañaverales – La Guajira. .	<b>65</b>

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Ilustración 1.</b> Ciclo interno de nutrientes formado principalmente por los flujos de las plantas, la comunidad biótica y el suelo. ....	<b>19</b>
<b>Ilustración 2.</b> Ubicación del manantial de cañaverales.....	<b>31</b>
<b>Ilustración 3.</b> Biomasa de especies de hongos celulolíticos en tiempo lluvia y sequía.....	<b>52</b>
<b>Ilustración 4.</b> Abundancia de especies nativas y exóticas en época de lluvia.....	<b>55</b>
<b>Ilustración 5.</b> Abundancia de especies nativas y exóticas en época de sequía.....	<b>56</b>

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

**Ilustración 6.** Riqueza de especies nativas y exóticas en época de lluvia.....**59**

**Ilustración 7.** Riqueza de especies nativas y exóticas en época de sequía.....**60**

**LISTA DE ECUACIONES**

**Ecuación 1** ..... **24**

**Ecuación 2** ..... **25**



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



### **TITULO DEL PROYECTO**

Retorno potencial de nutrientes y tasa de descomposición de hojarasca por parte de hongos celulolíticos en el manantial de Cañaverales – La guajira, Colombia.

## **INTRODUCCIÓN**

Podemos definir como hojarasca al conjunto de hojas secas que caen de los árboles al suelo. El detrito resultante, y sus nutrientes constituyentes, se agregan a la capa superior del suelo, desde el cual su descomposición será fundamental en el ciclo de nutrientes del ecosistema, y en la transferencia de materia orgánica y nutrientes entre la zona aérea del bosque, y el sistema suelo.

En este proyecto se evaluó la degradación de la hojarasca en el manantial de cañaverales – la Guajira – Colombia, para la cual se utilizó el método de trampas en la parte inferior de los árboles en la cual captaremos la hojarasca en dos etapas climáticas, las cuales son sequía y lluvia.

En cada una de estas etapas dejamos las trampas en un tiempo de 20 días para luego llevarlas al laboratorio y finalmente evaluar cómo se degrada la hojarasca.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es la tasa de descomposición de la hojarasca generada por las formaciones vegetales en el manantial de Cañaverales en el proceso de retorno potencial de nutrientes?

La generación de hojarasca y su descomposición son procesos fundamentales en el ciclo de los nutrientes, ya que representan la transferencia primaria de materia orgánica y nutrientes desde la parte aérea a la superficie del suelo. Más de la mitad de la absorción anual de nutrientes en el bosque se debe a la incorporación de hojarasca al suelo, al posterior reciclaje de estos nutrientes y representa la principal fuente de minerales disponibles. (Del valle, 2003).

Estudios realizados por Hu et al., (2006) han demostrado que el producto de la descomposición de hojarasca podría generar anualmente entre el 69% y 87% de la energía para el crecimiento de los bosques y sistemas agrosilvopastoriles. La actividad biótica del suelo es la fuerza motriz para la transformación de la hojarasca en materia orgánica suelo y el desarrollo y mantenimiento del suelo. Las fases de descomposición difieren en cada uno de los componentes y están influenciadas por factores abióticos del suelo tales como temperatura, humedad y aireación, y por la calidad de la hojarasca caída.

Una de las fuentes de diversidad microbiana termófila son los manantiales termales, donde se observa una cierta relación entre algunos microorganismos y las aguas con características fisicoquímicas más extremas de pH, temperatura, salinidad y radiactividad (De la Rosa y Mosso, 2000).

El retorno continuo de la materia orgánica y los nutrientes al suelo a través de la hojarasca es una de las formas naturales de renovación de los ecosistemas. La acumulación de residuos vegetales en la superficie del suelo tiene efectos positivos sobre la productividad de los ecosistemas forestales, lo que ha conllevado al estudio de los aportes y de los procesos asociados a la descomposición de la hojarasca. (Prause et al. 2002).

Los impactos ecológicos que producen las especies exóticas en la estructura de los ecosistemas suscitan una gran preocupación a nivel mundial debido a las afectaciones generadas sobre la diversidad, riqueza y cobertura de las formaciones vegetales. También son alterados, la dinámica y diversos procesos ecosistémicos, como las tasas de productividad, descomposición de hojarasca, el ciclado de nutrientes, las condiciones ambientales, microorganismos descomponedores entre otros (Vitousek *et al.*, 2014).

Es así como diversas investigaciones, aportan en la identificación de una serie de rasgos que caracterizan a las especies exóticas dejando en evidencia que estas especies generan elevación en el área foliar específica, alta tasa de fotosíntesis, mayores tasas de descomposición entre otros procesos. Sin embargo, muchos ecosistemas presentan un amplio rango de atributos y diferentes estrategias de colonización por lo que su tasa de descomposición y sus potenciales efectos sobre el ecosistema podrían depender de la especie (Furey *et al.*, 2014).

La introducción de especies exóticas a los bosques fluviales para la recuperación de áreas degradadas por actividades antrópicas ha venido alterando el funcionamiento de las dinámicas del ciclaje de los nutrientes. Sin embargo diversas investigaciones (Gaspar, *et al.*, 2015), han demostrado que a través del estudio de la producción, descomposición y liberación de macro y micronutrientes aportados por la hojarasca, aporta información que

permite el entendimiento de los procesos claves para garantizar el adecuado funcionamiento de los bosques fluviales (tasas de crecimiento, productividad y tolerancia a condiciones desfavorables, asociaciones de los microorganismos, entre otras), dado que el ciclado de los nutrientes altera en forma positiva y negativa las características físicas, químicas y biológicas de los recursos agua y suelo. (León *et al.*, 2008)

Lo anterior fue evidenciado por Castro, González y Fernández, 2008 quienes indican que las especies que están sustituyendo a las nativas en estos ambientes poseen propiedades inexistentes en las especies nativas, como la capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico, la absorción de agroquímicos, modificando la disponibilidad de nutrientes en los suelos, ya sea mediante efectos directos o indirectos sobre la descomposición de la hojarasca. Sin embargo, en investigaciones anteriores se presenta un amplio rango de atributos y diferentes estrategias de colonización por lo que su tasa de producción, descomposición, liberación de nutrientes y sus potenciales efectos sobre el ecosistema dependen de las especies evaluadas.

Los bosques fluviales tienen gran importancia ecológica, debido a que proporcionan el hábitat para diferentes organismos. La introducción de especies exóticas en estos bosques podría producir desequilibrios ecológicos, como cambios en los ciclos biogeoquímicos, además, generaría alteraciones en la población de microorganismos celulíticos, debido a que podría aumentar el número de especies, así mismo aumentaría la materia orgánica en el medio ocasionando inestabilidad en el ecosistema (Castro *et al.*, 2014).

Hasta este punto es importante generar información básica sobre los microorganismos celulíticos termófilos para posteriores investigaciones como la obtención de

factorías celulares para la producción de etanol, ya que el proceso de conversión de biomasa lignocelulolítica en biocombustible es bastante promisorio.

Es así como la presente investigación se evaluaron hongos celulolíticos, que degraden la hojarasca apartada por especies nativas y exóticas del manantial de cañaverales y a su vez, determinar el impacto de este proceso sobre el funcionamiento del ecosistema antes mencionado. Por ello, se establecerán patrones de riqueza, abundancia, biomasa y potencial enzimático sobre la dinámica temporal de hongos celulolíticos degradadores de la hojarasca.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Los ecosistemas establecidos en los bosques fluviales son vulnerables frente a la presencia de las especies exóticas, alterando algunas características de los procesos y las comunidades bióticas sobre los recursos agua y suelo. Entre los efectos que se presentan en los ecosistemas por la introducción de especies exóticas, se encuentran la alteración en la caída de la hojarasca, el ciclaje de los nutrientes, cambios en la estructura de las comunidades edáficas, fenología y composición química de los tejidos, tasas de crecimiento entre otros (Allison *et al.*, 2014).

Se ha demostrado, que la caída de la hojarasca representa el mayor enlace en el ciclo orgánico producción-descomposición y es un proceso fundamental de transferencia de nutrientes desde el dosel de la vegetación hacia el suelo generando protección frente a los cambios de cambios de temperatura, humedad, y permitiendo el retorno de elementos nutritivos en una cantidad importante, donde las fracciones de órganos vegetativos (hojas, y ramas) y reproductivos (flores y frutos) son una fuente valiosa de materia orgánica que después de sufrir procesos de descomposición liberan macro y micronutrientes que se incorporan al suelo para ser nuevamente utilizados por las plantas ( Bonilla *et al.*, 2008).

La caída y las tasas de descomposición de la hojarasca transfieren a través de las fracciones vegetativas y reproductivas los macro y micronutrientes en función de las características edafológicas, climatológicas, hidrológicas y bióticas.

La degradación de la hojarasca es posible gracias a la participación de los residuos vegetales realizada por los macroinvertebrados y la reincorporación de nutrientes que realizan los

microorganismos altamente eficientes, como los degradadores de celulosa, siendo este el componente más abundante de la biomasa vegetal. Estos microorganismos celulolíticos cobran gran importancia por su participación directa sobre el ciclaje del carbono, manteniendo el balance de nutrientes en la biodiversidad de este ecosistema (Herrera y Rosas, 2011).

Siendo consideradas las bacterias celulolíticas termófilas prometedoras en la degradación de celulosa, es de gran importancia la selección de estos microorganismos con una eficiente actividad celulolíticas para obtener sustancias biológicamente activas con interés biotecnológico e industrial; ya que aunque se han aislado una gran variedad de bacterias y hongos capaces de utilizar la celulosa, no todos pueden producir altos niveles de enzimas extracelulares que permitan degradar "in vitro" la celulosa insoluble. (Zapata, 2014)

Por todo lo anteriormente planteado, la presente investigación busca determinar e identificar el retorno potencial de nutrientes y la tasa de descomposición de hojarasca generada por especies vegetales nativas y exóticas del manantial de cañaverales durante eventos de lluvia y sequía, a través de la información que dé cuenta de la estructura, funcionamiento de estas especies y la dinámica desarrollada por los hongos celulolíticos en asocio con la degradación de la hojarasca como material vegetal presente en el manantial de Cañaverales, La Guajira; y así, poder aportar a la construcción de la línea base y conocer si las especies evaluadas son eficientes y garantizan la sostenibilidad del bosque fluvial de este manantial.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar el retorno potencial de nutrientes y la tasa de descomposición de hojarasca generada por especies vegetales nativas y exóticas del manantial de cañaverales durante eventos de lluvia y sequía.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar hongos celulolíticos presentes en el proceso de descomposición de la hojarasca aportada por las especies vegetales establecidas en el manantial de cañaverales durante eventos de lluvia y sequía.
- Establecer los patrones temporales de riqueza, abundancia, biomasa y potencial enzimático de hongos celulolíticos en función de la degradación de la hojarasca aportada por las especies nativas y exóticas.
- Estimar las tasas de descomposición y retorno de nutrientes de la hojarasca generada por especies nativas y exóticas asociadas con las comunidades fúngicas durante eventos de lluvia y sequía.

## **4. MARCO REFERENCIAL**

### **4.1 ANTECEDENTES**

Las investigaciones sobre la dinámica de nutrientes en ecosistemas forestales son muy amplias y cuentan con diversas referencias, a continuación, se mencionan algunos estudios que le soporte a la investigación desarrollada en curso.

**Romero (2006)** realizó un estudio sobre “**sistemas agroforestales de café**” en **Costa rica**, donde se cuantificó el aporte de biomasa (MS) y el reciclaje de nutrientes (Ca, Mg, K, P y N) en 15 tratamientos con sombra de tres especies arbóreas, dos leguminosas (*Erythrina poeppigiana* (poró) y *Chloroleucon eurycyclum* (cashá)) y un árbol maderable no fijador de nitrógeno (*Terminalia amazonia*) (roble de coral), bajo tres niveles de manejo (alto convencional (AC), medio convencional (MC) y alto orgánico (MO)). En la comparación entre leguminosas, fueron los tratamientos con poró *Erythrina poeppigiana*, quienes superaron los valores de los tratamientos con cashá *Chloroleucon eurycyclum* 19534 kg ha<sup>-1</sup> vs 9136 kg ha<sup>-1</sup> MS. El promedio total de nutrientes reciclados dentro de los SAF se mantuvo entre los niveles de fertilización propuestos por el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE, 1998). Al estimar los índices de eficiencia de la fertilización y de exportación de nutrientes, se encontró que en todos los tratamientos, K fue el elemento potencialmente limitante para la producción de café y el de mayor exportación.

Así mismo, **castellano y León (2010)**, realizaron una investigación sobre la “**caída de hojarasca y dinámica de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium***”, en la que hallaron la producción de hojarasca, el retorno y la reabsorción de nutrientes, y la eficiencia

en su uso. La producción anual de hojarasca fina fue de 10,4 mg ha<sup>-1</sup> y estuvo dominada por la fracción foliar 54%, seguida del material reproductivo 24%, y en menor proporción por otros restos 6% y hojas de otras especies 1,5%. La hojarasca foliar mostró una concentración alta de N y un retorno potencial alto de N. El P, con baja concentración foliar y un bajo retorno potencial, además de los altos valores de los índices de eficiencia en su uso y de reabsorción foliar, fue el nutriente más limitante.

García, *et al.*, (2010), evaluaron la “**velocidad de descomposición de la hojarasca en la comunidad vegetal de dos bosques (reforestado y sucesión espontánea) localizados en Calarcá (Quindío), Colombia**”. Los resultados arrojaron que la descomposición de la hojarasca disminuyó en más del 50% del peso original en los primeros 30 días del ensayo en ambos bosques. Las diferencias en las tasas de descomposición de los bosques pueden estar relacionadas con las condiciones físicas del suelo (temperatura y humedad), factores que determinan el metabolismo microbiano y consecuentemente la velocidad de descomposición.

Por otra parte, **Bonomelli (2012)**, realizó un estudio denominado “**caracterización de la contribución de las hojas en el reciclaje de N y P en dos plantaciones: *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*, ubicadas en el Valle Central de Chile**”. El cual tenía por objetivo cuantificar la caída mensual de hojas provenientes de árboles fertilizados y no fertilizados durante los primeros tres años de crecimiento. Los resultados arrojaron que hacia el segundo año de crecimiento la biomasa de hojas caídas varió entre 93 y 354 kg ha<sup>-1</sup> en árboles no fertilizados y entre 482 y 984 kg ha<sup>-1</sup> en el caso de los fertilizados. En el tercer año se alcanzaron valores entre 2.113 y 3.570 kg ha<sup>-1</sup> en árboles no fertilizados y entre 3.841 y 6.978 kg ha<sup>-1</sup> en los

fertilizados. La caída de las hojas se produjo principalmente en primavera y en el verano, que es el período de mayor estrés hídrico y retornaron entre 29 y 46 kg N ha<sup>-1</sup> en los árboles fertilizados.

Munguía (2012), monitoreó la **“caída de hojarasca de un sistema agroforestal con *G. sepium* y *C. Arábica* en Nicaragua”**. Los resultados indican que el componente café, tanto en la (PCF) como en la (PSF) contribuyó con 58.3 y 60.2 % del contenido de hojarasca respectivamente, con respecto al total de residuos producidos. En la parcela a pleno sol la contribución del cafeto aumenta hasta un 83.9 %. Las concentraciones de N obtenido en el análisis de laboratorio fueron de 2.39, 2.63 y 2.29 % y para P en la hojarasca de café fue de 0.28, 0.35 y 0.21 % en la hojarasca de café correspondiendo a las parcelas de café con sombra y fertilizada, con sombra y no fertilizada y a pleno sol, respectivamente.

Fuentes y Rodríguez (2012), evaluaron a través de un estudio la **“dinámica de los nutrientes a través de la caída de la hojarasca y la eficiencia en su uso en tres formaciones vegetales en las riberas del río Gaira, Santa Marta – Colombia”**. Las concentraciones de estos nutrientes fueron semejantes en las tres formaciones; 1,71% N y 0,12% P para el bosque húmedo subtropical; seguidos por el monte espinoso tropical con 1,50% N y 0,10% P y el bosque muy húmedo seco tropical con 1,39% N y 0,08% P. Los mayores retornos de biomasa y nutrientes se presentaron en el bh-ST y el me-T establecidos en el tramo medio y bajo del manantial. La hojarasca mostró alta concentración de N y consecuentemente, dados los altos valores de producción de las diferentes fracciones, un retorno potencial alto de N 78,6 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. P presentó una concentración foliar con un retorno potencial de 4,9 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y altos valores en los índices de eficiencia de uso IEV: 2888,5 y la reabsorción foliar ERN: 98,2, fue el nutriente más limitante.

De igual forma se encontró la investigación de **Arango (2013)**, en la que se “**cuantifica la hojarasca fina producida en las tres asociaciones más importantes de los humedales forestales turbosos del delta del río Patía**”, en esta, se determinó en la hojarasca de cada una de las asociaciones la concentración de bioelementos: N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn y Zn, así como las cantidades recicladas anualmente y establecer la importancia del ciclaje de nutrientes en estos bosques y compararlos con otros ecosistemas de bosque húmedo tropical. La producción anual de hojarasca para las tres parcelas fue de:  $15,64 \pm 2,25$ ;  $9,14 \pm 1,16$  y  $10,33 \pm 1,62$  ( $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ).

**Collantes et. al., (2014)**, realizó un estudio denominado “**caracterización de la producción de hojarasca fina aportada por cinco especies abundantes en un tramo de la cuenca media del río Gaira, Santa Marta – Colombia**”. Los resultados arrojaron que una producción semestral de  $3764 \text{ kg ha}^{-1}$ , que extrapolada a un año representó  $7529 \text{ kg ha}^{-1}$ , la producción de hojarasca fina estuvo dominada por la fracción foliar 65%, seguida del material leñoso 17,7%, material reproductivo 9,4% y otros restos 7,6%. La mayor producción de hojarasca foliar se registró para la especie *Nectandra cf. Turbacensis*  $152,27 \text{ kg ha}^{-1}$  y la menor producción la obtuvo *Pouteria argua-coensium*  $9,66 \text{ kg ha}^{-1}$ .

**Guzmán et al., (2014)**, realizaron una investigación sobre “**hongos celulóticos**” la cual tuvo como objetivo aislar, seleccionar y caracterizar, a partir de muestras de suelo, hongos filamentosos con actividad celulolítica, que tuvieran aplicación futura como inoculo en el compostaje de residuos orgánicos fibrosos. El hongo AO-8 mostró mayor halo de hidrólisis de celulosa con 10,33 mm y estabilidad de crecimiento en los diferentes niveles de pH y temperatura estudiados.

Gutiérrez *et al.*, (2014) realizaron una revisión bibliográfica en donde se expresaron las “**similitudes y diferencias de los mecanismos de acción de las celulasas y los mecanismos de regulación de su expresión para 3 de los modelos de hongos filamentosos celulolíticos más estudiados: *Trichoderma reesei*, *Aspergillus niger* y *Aspergillus nidulans*, y para un modelo recientemente descrito, *Neurospora crassa*”**. Se encontró que los mecanismos de acción enzimática son muy similares en todos los modelos estudiados, no así los mecanismos de regulación génica. Entender las particularidades de cada sistema es fundamental en el desarrollo de estrategias para la mejora de la producción de celulasas, ya sea proporcionando el ambiente óptimo (condiciones de fermentación) o aumentando la expresión en estos microorganismos mediante ingeniería genética.

Igualmente, **Castillo *et al.*, (2015)** utilizaron la disposición de residuos sólidos urbanos que continúa generando problemas ambientales en varios países. El objetivo de la investigación fue desarrollar un inóculo de hongos celulolíticos y evaluar su efectividad en el compostaje de residuos orgánicos, se usaron muestras de suelos de bosques y de fincas productoras de cereales y de composteras. Los aislamientos obtenidos fueron evaluados por su capacidad celulolítica y los que mostraron mayor capacidad probados por su compatibilidad para crecimiento. Del total de 39 aislamientos, 32, se identificaron como *Penicillium* sp; tres, como *Trichoderma* sp; uno, como *Mucor* sp; uno, como *Chaetomium* sp; uno, como *Verticillium* sp., y uno, como *Trichurus* sp. Los aislamientos difirieron en su capacidad celulolítica, 10 aislamientos no mostraron halo de hidrólisis y, en los 29 restantes, la amplitud del halo varió entre 0,10 y 0,7cm. Con base en la capacidad celulolítica y compatibilidad el inóculo fue conformado con los aislamientos 21 (*Trichoderma* sp) y 62 y 66 (*Penicillium* sp).

**Bernal et al., (2016)** realizaron un estudio sobre la microflora cultivable y endomicorrizas obtenidas en hojarasca de bosque; en el cual se determinó el aislamiento de *Penicillium* sp y una cepa de *Cladosporium* sp. En un medio selectivo de carboximetilcelulosa. Los resultados arrojaron que la *Penicillium* sp y *Cladosporium* sp posee una reconocida actividad celulolítica.

**De Melo et al., (2018)**, realizaron un estudio en el que aislaron los hongos celulolíticos filamentos nativos de una sábana brasileña conocida como Cerrado, siendo este ecosistema con alto grado de endemismos con el potencial de albergar muchos microorganismos de alto interés biotecnológico. Se analizaron muestras de suelo y de hojarasca recolectadas del parque estatal del Cerrado los resultados evidenciaron que, de 28 cepas aisladas, 25 produjeron celulosa que fue detectada con lugol las cepas fueron cultivadas en medio CMC (carboximetilcelulosa). Por su parte, una cepa de *Colletotrichum boninense* y una cepa de *Trichoderma* sp, ambas aisladas de muestras de suelo, presentaron la mayor actividad celulolítica.

## 4.2 MARCO TEÓRICO

Los hongos celulolíticos, son aquellos capaces de utilizar la celulosa como fuente de carbono, estos poseen enzimas que le permiten hidrolizar este compuesto. La mayor parte de la celulosa en la naturaleza es hidrolizada por hongos filamentosos, debido a que poseen una gran maquinaria enzimática, además tienen la capacidad de adaptarse a casi todas las condiciones ambientales. Los microorganismos capaces de degradar la celulosa constituyen un grupo funcional importante en la ecología, ya que participan en los ciclos del carbono y del nitrógeno, además recuperan y reciclan materia y energía por medio de su maquinaria enzimática (Málaga y Cabrera 2017).

Los hongos celulolíticos más representativos pertenecen al género *Trichoderma*, la especie más importante es; *T.reesei*. Otras especies principales que poseen capacidad celulolítica son; algunas de *Aspergillus* sp, *Fusarium* sp, *Cladosporium* sp, *Penicillium* sp entre otras (Ferrer, et al., 2011).

Es el polisacárido más importante y abundante dentro de la constitución de las plantas. La celulosa está compuesta por cuatro unidades de glucosa acopladas linealmente por enlaces glicosídicos  $\beta$ -1,4(Carreño, et al., 2012).

En la degradación de la celulosa participan tres enzimas; la  $\beta$ - 1,4 glucanasa, la cual provoca la hidrólisis en enlaces aleatorios glicosídicos intermoleculares accesibles de cadena de celulosa para producir oligosacáridos más grandes; la exo  $\beta$ -1,4 celobiohidrolasa la cual divide los extremos de la molécula de la celulosa liberando glucosa y celobiosa; la endo  $\beta$ -1,4-glucanasa esta actúa al azar sobre los enlaces glicosídicos, convirtiendo los fragmentos de

celobioma a glucosa o removiendo glucosa desde los extremos no reductores (Gaitán y Pérez 2007).

Los bosques fluviales son sistemas complejos y peculiares en términos de sus características biofísicas y procesos ecológicos, esto es porque conforman una interface entre los ecosistemas terrestres y acuáticos. Estos bosques ayudan a proveer un sin número de especies vegetales y animales de alta diversidad, así como sostener numerosos procesos biológicos; siendo esta contribución muchas veces proporcionalmente mayor a la superficie que ocupan dentro de una región (Meli *et al.*, 2017)

Los ríos son uno de los ecosistemas más diversos y amenazados de la tierra, dentro de su desarrollo sostenible es esencial su conservación. Esta conservación debe tener en cuenta tanto la estructura y el funcionamiento de los elementos (por lo general las especies), así como de su ecosistema. Por tanto, la conservación debe ir más allá de la protección de especies. Los ríos y cursos de agua loticos en conjunto con sus valles de inundación y nacientes conforman un complejo hábitat que incluye los suelos, interacciones bióticas (vegetación y fauna) así como su red de drenaje conforman lo que es llamado ecosistema fluvial, en otras palabras, es el conjunto de elementos que conforman la cuenca fluvial (Elosegui y Sabater, 2014).

Los ecosistemas fluviales prestan servicios importantes los cuales son funciones que se traducen en beneficios para la calidad de vida de las sociedades humanas

**Tabla 1.**

*Servicios de los ecosistemas fluviales*

---

Disponibilidad de agua

---

Producción de comida y otros bienes (pesca, madera...)

---

Regulación del clima

---

Regulación de gases con efecto invernadero (CO<sub>2</sub> y metano)

---

Regulación de perturbaciones (avenidas)

---

Reciclaje de nutrientes (depuración de agua)

---

Tratamiento de materiales (sedimentos y materiales orgánicos)

---

Turismo y cultura

---

*Nota: En esta tabla se muestran los diferentes servicios de los ecosistemas fluviales de los cuales quienes tienen mayor repercusión sobre las sociedades humanas son la disponibilidad de agua de calidad y la producción de alimentos. (Elosegui y Sabater, 2014).*

El material vegetal que se encuentra depositado sobre el suelo y su descomposición tienen un papel de suma importancia en la regulación de la productividad de los ecosistemas fluviales, esto se debe a que constituyen el principal retorno de nutrientes al sustrato. Las hojas, ramas y estructuras reproductivas se encargan de la absorción de estos nutrientes (imagen 1). Con la mineralización de estos, se libera bioelementos (N y P) que las plantas reabsorben con lo

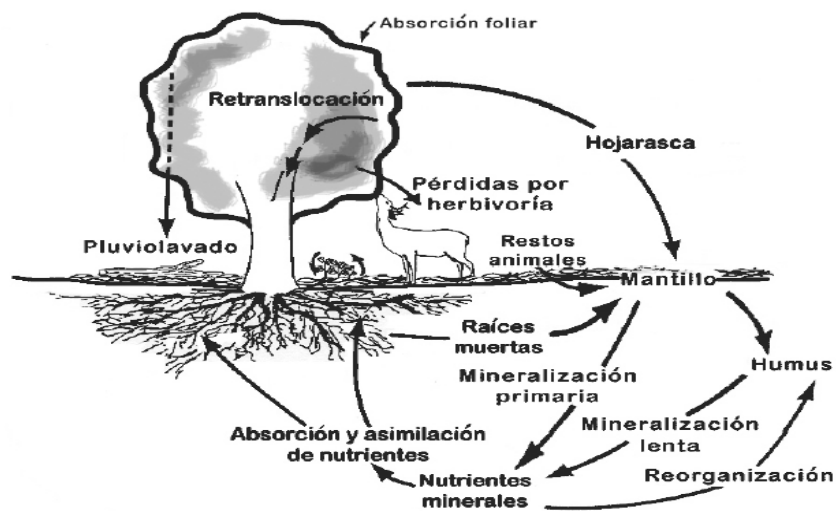
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

que se contribuye al funcionamiento del ciclo biogeoquímico. Este proceso está ligado por las características morfológicas y fisiológicas de las especies, la variación anual de la composición de la hojarasca, sus propiedades fisicoquímicas y las condiciones ambientales, lo que define el tiempo de cesión de nutrientes (López, J. *et al.*, 2015).

El estudio de los ciclos de nutrientes a través de la caída de la hojarasca representa una valiosa aproximación hacia la comprensión de los ecosistemas forestales. Por ende, la calidad de la hojarasca es un precursor importante ante el grado de mineralización total de N (mantillo y suelo) en un ecosistema forestal; a diferencia de los bosques húmedos tropicales, donde la descomposición de los restos orgánicos es rápida, en los ecosistemas de climas semiáridos este proceso ocurre con mucha lentitud (López, J *et al.*, 2015).

**Ilustración 1.**

*Ciclo interno de nutrientes formado principalmente por los flujos de las plantas, la comunidad biótica y el suelo.*



Nota: El grafico representa el ciclo interno de nutrientes representando una valiosa aproximación hacia la compensación de los ecosistemas forestales (Bosco, *et al.*, 2004)

La hojarasca es una medida de la producción primaria neta del ecosistema y está fuertemente correlacionada con el incremento de la biomasa, la demanda de árboles y la apertura del dosel; pero esta se ve afectada por diferentes variables de tipo ambiental como la temperatura, fertilidad del suelo, precipitación, elevación y la evapotranspiración potencial. Los aportes de este material vegetal (hojarasca) varían ampliamente entre ecosistemas forestales (López, *et al.*, 2013).

Para las entradas del reciclaje de nutrientes se encuentran procesos muy importantes como la meteorización en el que esta principalmente involucrado el nutriente fosforo y la fijación biológica de nitrógeno, procesos que se describirán más adelante.

La meteorización es un proceso general que se forma a través de un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos sobre un medio rocoso original (roca madre). Este proceso da origen a las partículas minerales, materia orgánica, aire y agua; que conforma el suelo y provee la fijación de fosforo al ecosistema forestal (Yakabi, K. 2014).

La fijación biológica de nitrógeno consiste en la reducción de nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) a ion amonio ( $NH_4^+$ ) (desnitrificación). Este elemento químico promueve el desarrollo de las hojas y el crecimiento de brotes. El nitrógeno es alimento que consumen microorganismos del suelo, ayuda a la descomposición de la materia orgánica por medio de desnitrificación del nitrógeno (Borges, Y. 2017).

Las transferencias de nutrientes nitrógeno y fosforo por biota pueden tener también importancia en el balance de nutrientes de ecosistemas forestales. Citamos como ejemplos, heces y orinas de ganado, animales muertos y transporte de material vegetal por aves que viven entre el bosque y otros ecosistemas colindantes. Por supuesto, muchas de estas transferencias pueden ser también hacia fuera del bosque (Peñuelas *et al.*, 2016).

Las precipitaciones, tanto en forma de lluvia como de nieve (tras el deshielo), provocan la salida de nutrientes de los bosques, especialmente si están intervenidos. Estas salidas pueden ser como lixiviados hacia las aguas subterráneas o con el agua de escorrentía hacia los ríos. Entre los lixiviados suelen predominar los nitratos y el nitrógeno orgánico disuelto. Estas pérdidas de nitrógeno pueden acentuarse cuando el nitrógeno excede las necesidades de plantas, bacterias y hongos. El agua de escorrentía puede llevarse una gran parte de los materiales resultantes de la erosión causada por las actividades forestales (construcción de pistas, preparación del suelo, talas, etc.) o cenizas producidas durante una quema de restos de corta, particularmente en laderas de fuerte pendiente. Este proceso conlleva normalmente pérdidas importantes de nitratos y fósforo. La mayor parte del fósforo en los suelos está adherido a la materia orgánica y complejos minerales. Por ello, el 90% de las pérdidas de fósforo se producen durante lluvias o deshielos, predominando el fósforo particulado en las aguas de escorrentía y el fosfato soluble en los lixiviados hacia las aguas subterráneas (Peñuelas *et al.*, 2016).

Sobre un suelo forestal se van depositando diferentes materiales, provenientes de distintos estratos de vegetación, como hojas, ramas, inflorescencia, frutos, cuyo conjunto se denomina hojarasca y cada una de ellas es llamada fracción vegetal. La acumulación de

hojarasca regula la cantidad y composición de la materia orgánica del suelo, y por ende responsable de las sustancias húmicas (Rave, *et al.*, 2013).

Dentro de la interrelación suelo-planta, es importante la secuencia de la caída de hojarasca y de restos animales que caen en el suelo del bosque, procedentes de los distintos estratos de la vegetación, con exclusión de raíces. Todo este conjunto de órganos sumados a la cantidad de raíces muertas constituye la principal vía de entrada de materia orgánica al suelo en los ecosistemas forestales.

La disponibilidad de nutrientes para las plantas está determinada por la proporción en que los nutrientes circulan dentro del sistema y la cantidad de insumos que éste recibe. La composición bioquímica de los restos vegetales varía dentro de los límites, según su edad y funciones del órgano vegetal analizado. Los tejidos verdes son más ricos en carbohidratos y proteínas, mientras que los tejidos leñosos presentan mayores contenidos en compuestos fenólicos (ligninas) y celulosas. Son los contenidos de polifenoles y ligninas factores adicionales que influyen la liberación de los nutrientes de la hojarasca y otros residuos vegetales, ya que ambos disminuyen la calidad de los materiales vegetales (Romero, 2006).

La descomposición es el proceso biológico por el cual las sustancias orgánicas sufren un proceso de transformación en inorgánicas, donde la hojarasca sirve de aporte y su posterior mineralización un proceso de retroalimentación positiva para el equilibrio y productividad del ecosistema forestal. Este proceso se encuentra regulado por distintos factores físico-ambientales como la humedad, la radiación ultravioleta, la temperatura, las propiedades fisicoquímicas del suelo, especies vegetales como la hojarasca, las características de las comunidades de invertebrados y microorganismos (Mendoza, 2017).

La descomposición puede dividirse en tres procesos: lavado, fragmentación de materia orgánica y degradación química. El lavado es un proceso físico por el que los iones minerales y pequeños compuestos orgánicos de la materia orgánica muerta, se disuelven en el agua y pasan al suelo. Los animales del suelo, fragmentan y mezclan la hojarasca con el suelo mineral, aumentando la superficie y las oportunidades de colonización para los microorganismos. Durante la degradación química, se producen CO<sub>2</sub>, agua, y energía para los microorganismos (bacterias, hongos y actinomicetos). Los microorganismos pueden actuar como sumideros (inmovilización) o fuentes (mineralización) de carbono y nutrientes, controlando la disponibilidad de nutrientes para la vegetación.

La descomposición está controlada por tres tipos de factores: 1) el ambiente físico, principalmente la temperatura y la humedad del suelo; 2) la cantidad y la calidad de la hojarasca disponible para los descomponedores, y 3) las características de las comunidades de invertebrados y microorganismos. La actividad microbiana aumenta 2,4 veces con un aumento de temperatura de 10°C, siendo los rangos óptimos de funcionamiento para las enzimas que intervienen en los procesos de descomposición de entre 20 y 30°C.

Uno de los enfoques más manejables para estimar la sensibilidad a la temperatura de la descomposición de los bosques es mediante el uso de gradientes de elevación, que pueden ser herramientas poderosas para examinar los controles climáticos sobre el funcionamiento del ecosistema. Los estudios observacionales a lo largo de transectos de elevación sustituyen el espacio por tiempo al examinar las tasas de descomposición de la hojarasca en bosques en un rango de ambientes de temperatura, y así tienen la ventaja de representar la respuesta de

descomposición integrada a largo plazo a la temperatura media anual cambiante (Bothwell *et al.*, 2014)

La cantidad y calidad de la materia orgánica, y sus tasas de descomposición, ejercen un fuerte control sobre la disponibilidad de algunos nutrientes para las plantas, y por tanto sobre el crecimiento de las mismas. Para conseguir una producción sostenible, el gestor forestal tiene que mantener la materia orgánica del suelo, y un balance equilibrado entre las tasas de descomposición, la reserva de nutrientes disponibles en el suelo, y el crecimiento del bosque.

La tasa de descomposición indica la tasa de renovación o rapidez con que la hojarasca recién caída se transforma física y químicamente para incorporarse al suelo. Esta incorporación del material foliar puede realizarse en forma orgánica o inorgánica, y su transformación final en formas inorgánicas se conoce como tasa de mineralización. La cantidad y calidad de la materia orgánica, y sus tasas de descomposición, ejercen un fuerte control sobre la disponibilidad de algunos nutrientes para las plantas, y por tanto sobre el crecimiento de las mismas (Gallardo *et al.*, 2009).

Existen diferentes modelos matemáticos para determinar la tasa de descomposición de la hojarasca. Mendoza *et al.*, (2017) en la descomposición de hojas de una especie arbórea productora de frutos de interés comercial utiliza una formulación de índice de descomposición  $k$  de acuerdo al modelo modificado de Olson (1963), vista en la siguiente Ecuación 1:

$$X_t/X_0 = ae^{-kt} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:  $X_t$ : peso seco del material remanente en un tiempo  $t$  (g),  $X_0$ : peso seco inicial (g),  $a$ : parámetro de la fracción lábil,  $k$ : constante de descomposición ( $\text{año}^{-1}$ ),  $t$ : tiempo transcurrido

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

(año). Otro modelo matemático propuesto para obtener el coeficiente de descomposición de la hojarasca fue Molina *et al.*, (2018) es el exponencial negativo propuesto por Petersen y Cummins, (1974), observado en la Ecuación 2:

$$M_t = M_i e^{-k t} \quad \text{Ecuación 2}$$

En donde  $M_t$  es la masa remanente en el tiempo  $t$ ,  $M_i$  es la masa inicial de hojarasca,  $^{-k}$  es el coeficiente exponencial de descomposición y  $t$  el lapso de tiempo durante el cual se llevó a cabo el proceso.

Dentro de los componentes que conforman la hojarasca, en un 70% lo constituye la fracción foliar y representa una fuente importante de nutrientes. Su disponibilidad en el mantillo del suelo depende principalmente de los procesos de senescencia foliar y abscisión, esto se debe a una actividad de reciclaje interno de nutrición durante el desarrollo de las plantas; es decir estos tejidos vegetales se renuevan constantemente. Antes de que estos procesos sucedan, la planta reabsorbe y asigna parte de los nutrientes a las hojas jóvenes y funcionales, para luego dar paso a la caída de las hojas senescentes y su subsecuente integración a la fracción foliar en la hojarasca. La tasa de reabsorción foliar, expresada como el número de días que tardaría un árbol en renovar la totalidad de su copa, se halló a partir del cálculo de la biomasa foliar aérea presente por  $m^2$  propio de cada terreno. Luego se realiza la estimación por hectárea, resultando biomasa foliar aérea por hectárea en relación al desfronde anual por hectárea (Gracia *et al.*, 2005).

López *et al.* (2013), define la eficiencia de uso de nutrientes de los minerales por las plantas  $[(g \text{ hojas } m^2 / \text{año}) / (g \text{ mineral en hojas } m^2 / \text{año})]$  proveniente de la hojarasca como lo relacionado entre el uso del mineral para producir nueva biomasa, como una estrategia para las

plantas que crecen y se desarrollan en suelos de baja fertilidad, a la capacidad funcional del ecosistema para producir hojarasca, y a las características estructurales del ecosistema como la diversidad, cobertura, hábitos de crecimiento y la edad.

Gran parte de la materia orgánica del suelo deriva de la humificación de los residuos orgánicos que llegan al suelo tras su abscisión: hojas, ramas, flores, frutos y demás estructuras vegetales (incluso arboles enteros) que conforman la hojarasca. Esta materia orgánica del suelo, tras su mineralización, libera bioelementos que pueden ser reabsorbidos por las plantas, contribuyendo así al ciclo biogeoquímico.

Esta liberación de nutrientes, por tanto, está determinada, en última instancia, por las características genéticas de las especies, la variación anual de la composición de la hojarasca, sus propiedades fisicoquímicas y por las condiciones ambientales, determinando el ritmo de cesión de nutrientes en cada ecosistema forestal. En este contexto, el análisis del aporte de hojarasca al suelo constituye una forma apropiada de estimar la productividad forestal (Aceñalozza, *et al.*, 2009).

La caída de la hojarasca representa el mayor proceso de transferencia de nutrientes de las partes aéreas de la planta hacia el suelo. La hojarasca que cae al suelo forma un estrato orgánico, el cual cubre el suelo y lo protege de los cambios de temperatura y de humedad, y también permite que retornen elementos nutritivos en una cantidad importante. Los residuos vegetales depositados (hojas, ramas, flores y frutos) son una fuente valiosa de materia orgánica que después de sufrir procesos de descomposición liberan elementos nutritivos que se incorporan al suelo para ser nuevamente utilizados por las plantas (Bonilla *et al.*, 2008).

### 4.3 MARCO CONCEPTUAL

**Agroforestal:** es un grupo de prácticas y sistemas de producción, donde la siembra de los cultivos y árboles forestales se encuentran secuencialmente y en combinación con la aplicación de prácticas de conservación de suelo. (Fao, s.f)

**Biomasa:** se define como la fracción biodegradable de los productos, residuos y desechos de origen biológico procedentes de actividades agrarias, incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal, de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura. (Appa, 2020)

**Celulósico:** Pertenece o relativo a la celulosa. (RAE, 2021)

**Descomposición:** suele ser denominada el estado de putrefacción en el que puede ser hallado un animal o vegetal, pasados varios días después de la muerte del mismo. (Yirda, A. 2021)

**Edáfico:** Se trata de la capa superficial que cubre la corteza de la Tierra, con un espesor que varía de acuerdo a la zona. (Porto, J. y Gardey A. 2020)

**Fenología:** La fenología es la ciencia que estudia las fases del ciclo vital de los seres vivos y cómo las variaciones estacionales e interanuales del clima les afectan. (Fenodato, 2016)

**Foliar:** Consiste en una práctica que suministra nutrientes a las plantas a través de su follaje, ya sea mediante su disolución en agua o rociándolos directamente sobre las hojas. (Deccoiberica, 2015)

**Fluvial:** El término Fluvial refiere a todo aquello vinculado o en relación con los ríos. En tanto, la palabra fluvial aparece corrientemente vinculada a otros conceptos que también tienen mucho que ver con los ríos. (Ucha, F. 2009)

**Hojarasca:** La noción de hojarasca se utiliza para denominar al conjunto que se forma con las hojas secas que caen de los árboles. Durante el otoño, la hojarasca suele cubrir el suelo. (Porto, J. 2018)

**Hongos:** Los hongos son organismos que tienen células con núcleo (eucariontes) y que requieren de otros seres vivos para obtener su alimento (son heterótrofos). Sus células poseen una pared gruesa de un compuesto (polisacárido) llamado quitina, el cual les provee rigidez y resistencia. (Biodiversidad, 2020)

**Humedales:** Los humedales son áreas que permanecen en condiciones de inundación o con suelo saturado con agua durante períodos considerables de tiempo. Si bien este término engloba una amplia variedad de ecosistemas, todos los humedales comparten una propiedad primordial: el agua es el elemento clave que define sus características físicas, vegetales, animales y sus relaciones. (Arg.gob s.f.)

**Nutrientes:** Son sustancias químicas formadas por moléculas unidas fuertemente entre sí. Estas son las sustancias químicas que contienen los alimentos que consumimos de los cuales obtenemos la energía necesaria para realizar todo tipo de función vital y tener una vida sana. (Tamara, 2015)

**Orgánico:** Orgánico es un término genérico para designar procesos asociados a la vida o para referirse a sustancias generadas por procedimientos en que intervienen organismos vivos. (Significados.com 2020)

**Plantación:** El término plantación es un término que se utiliza para designar a todo aquel espacio natural que ha sido modificado por el ser humano para sembrar y cosechar un tipo particular de vegetación. (Bembibre, 2012)

**Retorno:** Retorno es el proceso y el resultado de retornar (regresar, retroceder, devolver). (Porto, 2014)

#### **4.4 MARCO CONTEXTUAL**

El proyecto se desarrolló en el manantial de cañaverales localizado en el municipio de San Juan del Cesar - La Guajira. Se realizarán muestreos en campo entre octubre y noviembre de 2022, con la finalidad de aislar los hongos que participan en el proceso de degradación de la hojarasca generada por especies vegetales nativas y exóticas presentes en este manantial. Se tendrán en cuenta los factores bióticos (los hongos) para un correcto muestreo y algunos factores físicos o abióticos no vivos del medio ambiente que rodean a las especies, que permitirán su desarrollo y supervivencia.

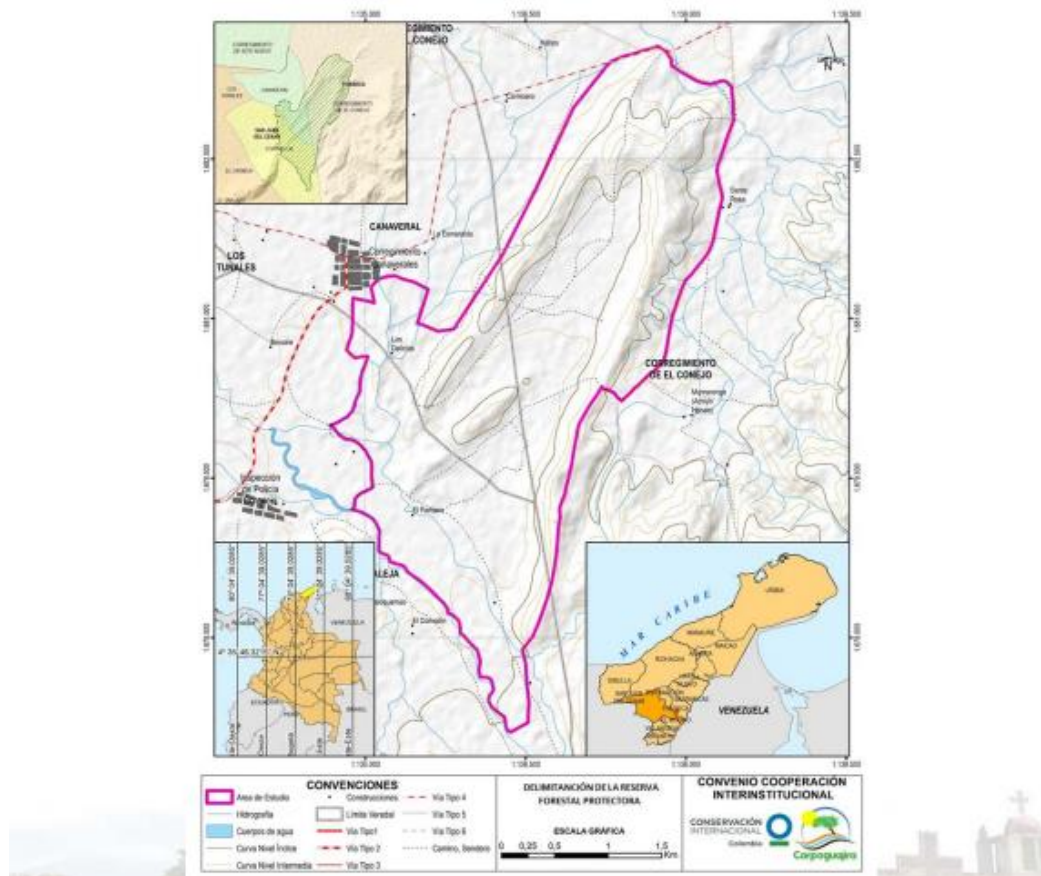
En el manantial de Cañaverales, La Guajira, se pueden encontrar especies de fauna como lo pueden ser ébano (*Libidibia ebano*), guayacán (*Bulnesia arborea*) y carrito (*Aspidosperma polyneuron*) que son las especies mayormente amenazadas de extinción.

La fauna en el manantial de Cañaverales es muy biodiversa, podemos encontrar especies como el oso hormiguero (*Myrmecophaga tridactyla*), el tigrillo (*Leopardus pardalis*), la guacamaya (*Ara militaris*) y el carpintero pequeño (*Picumnus cinnamomeus*), todas las especies antes mencionadas protegidas por el alto riesgo de extinción. El manantial de Cañaverales también cuenta con un alto número de especies de aves nativas de la región de bosque seco tropical, bosque no inundable y matorral espinoso.

El manantial de cañaverales está situado en la guajira al noreste de Acequia El Canal, y al norte de Arroyo Piedras. Tiene una Latitud de 10,74909° o 10° 44' 57" norte y una Longitud de -72,84166° o 72° 50' 30" oeste.

**Ilustración 2.**

*Ubicación del manantial de cañaverales.*



*Nota: En esta imagen se muestra la ubicación del área de manantial de Cañaverales en el departamento de La Guajira, el cual es un ecosistema de bosque seco tropical cuya particularidad radica en la presencia de un afloramiento de aguas subterráneas, por [corpoguajira.gov](http://corpoguajira.gov)*

## 4.5 MARCO LEGAL

**Tabla 2.**

*Normatividad Vigente Colombiana.*

NORMATIVIDAD	DESCRIPCION	APLICABILIDAD
<p><b>ARTÍCULO 1°</b></p>	<p>Para cumplir los objetivos establecidos por el artículo 2 del Decreto-Ley 2811 de 1974, este Decreto tiene por finalidad reglamentar las normas relacionadas con el recurso de aguas en todos sus estados, y comprende los siguientes aspectos:</p> <p>1) El dominio de las aguas, cauces y riberas, y normas que rigen su aprovechamiento sujeto a prioridades, en orden a asegurar el desarrollo humano, económico y social, con arreglo al interés general de la comunidad.</p> <p>2) La reglamentación de las aguas, ocupación de los cauces y la declaración de reservas de agotamiento, en orden a asegurar su preservación cuantitativa para garantizar la disponibilidad permanente del recurso.</p>	<p>Permite reducir y controlar las sustancias contaminantes que llegan al suelo</p>

La preservación y manejo de las aguas son de utilidad pública e interés social, el tenor de lo dispuesto por el artículo 1 del Decreto-Ley 2811 de 1974:

**ARTÍCULO 2°**

En el manejo y uso del recurso de agua, tanto la administración como los usuarios, sean éstos de agua o privadas, cumplirán los principios generales y las reglas establecidas por el Código Nacional de recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, especialmente los consagrados en los artículos 9 y 45 a 49 del citado Código.

Proteccion del medio ambiente,  
recursos naturales y garantiza una  
vida sana

**ARTÍCULO 4°**

En conformidad con lo establecido por los artículos 80 y 82 del Decreto-Ley 2811 de 1974, las aguas se dividen en dos categorías: aguas de dominio público y aguas de dominio privado. Para efectos de interpretación, cuando se hable de aguas, sin otra calificación, se deberá entender las de uso público.

Define las entidades públicas  
encargadas de la población del  
medio ambiente

**ARTÍCULO 5°**

- Son aguas de uso público:
- Los ríos y todas las aguas que corran por cauces naturales de modo permanente o no;
  - Las aguas que corran por cauces artificiales que

Preservación de las aguas de uso  
público como ríos, lagos, lagunas,  
ciénagas y pantanos.

	<p>hayan sido derivadas de un cauce natural;</p> <p>c. Los lagos, lagunas, ciénagas y pantanos;</p> <p>d. Las aguas que estén en la atmósfera.</p>	
<b>ARTÍCULO 6°</b>	<p>Son aguas de propiedad privada, siempre que no se dejen de usar por el dueño de la heredad por tres (3) años continuos, aquellas que brotan naturalmente y que desaparecen por infiltración o evaporación dentro de una misma heredad</p>	<p>Proteccion del medio ambiente, recursos naturales y garantiza una vida sana</p>
<b>Ley 23 de 1973</b>	<p>Por la cual se conceden facultades extraordinarias al presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente y se dictan otras disposiciones.</p>	<p>Es objeto de la presente ley prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud.</p>
<b>Decreto-Ley 2811 de 1974</b>	<p>“Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.”</p>	<p>Protección de los recursos naturales y medio ambiente</p>

*Nota: En esta tabla se estableces las narmas, leyes y decretos por los cuales nos regimos para la realización de la investigación.*

## **5. MARCO METODOLOGICO**

### **5.1 LINEA Y SUBLINEA DE INVESTIGACION**

Este proyecto se enmarca en la Línea de investigación **Sostenibilidad y Gestión Ambiental** adscrita al programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Facultad Ingenierías y Tecnologías, además, se ubica en la sublínea de investigación Suelos, dado que la investigación aborda un proceso de reincorporación de materia orgánica que ocurre en el suelo, en donde también participan comunidades edáficas.

### **5.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACION**

El enfoque de esta investigación es de tipo cuantitativo, la cual se puede definir como un tipo de investigación donde se establecen características de planteamientos acotados, mide fenómenos, utiliza métodos estadísticos para el análisis de datos y prueba hipótesis y teorías.

En este proyecto se realizaron procesos cuantitativos y se utilizaron diferentes modelos estadísticos, entre ellos la más importante Prueba de Tukey, para en el análisis final que refiere a la degradación de la hojarasca por parte de los hongos celulolíticos, a los cuales identificamos previamente cuantificando su biomasa, abundancia y riqueza en las épocas determinadas que son lluvia y sequía.

Finalmente, los resultados numéricos y estadísticos obtenidos fueron analizados para posteriormente sacar conclusiones sobre que hongos celulilíticos degradan mayor cantidad de materia orgánica y el impacto causado por las especies exóticas en el suelo del Manantial de Cañaverales, La Guajira.

## **ALCANCE DE LA INVESTIGACION**

El nivel de esta investigación es documental y de campo, dado que se realizarán muestreos en campo para aislar los hongos que participan en el proceso de degradación de la hojarasca generada por especies vegetales nativas y exóticas presentes en el manantial de Cañaverales, y documental porque se realizará la comparación con otros estudios en la misma línea.

### **5.3 POBLACIÓN DE ESTUDIO**

La vegetación del área de estudio corresponde al bosque seco tropical el cual es considerado uno de los ecosistemas más degradados y fragmentados del país, debido a la intensa transformación que han sufrido a través del tiempo (Etter, 1993; IAvH, 1998), cuenta con una oferta hídrica claramente diferenciada que define la existencia de tres unidades de vegetación (bosque inundable, bosque no inundable y matorral espinoso), que se distinguen entre sí en cuanto a su fisonomía, estructura y composición florística (Corpoguajira, 2011).

**Tabla 3.**

*Especies representativas de las formaciones vegetales establecidas en el manantial de Cañaverales, Guajira – Colombia.*

<b>FORMACIÓN VEGETAL</b>	<b>ÁREA (HA)</b>	<b>ESPECIES REPRESENTATIVAS</b>
<i>Bosque Inundable</i>	12,45	<i>Anacardium excelsum; Sterculia apetala; Triplaris sp.; Eugenia sp.; Bactris guineensis; Hura crepitans; Crateva tapia; Ceiba pentandra; Bauhinia glabra; Bromelia chrysantha.</i>
<i>Bosque no Inundable</i>	6,55	<i>Brosimum alicastrum; Schinopsis balansae; Hura crepitans</i>
<i>Matorral Espinoso</i>	16,05	<i>Propopis juliflora; Bursera sp.; Simaruba mimosa; Arenos sp.; Machaeriu sp.; Buahinia glabra</i>

*Nota: En esta imagen se muestran las principales especies en las formaciones vegetales encontradas en el manantial de Cañaverales, La Guajira. (Corpoguajira, 2011)*

Los bosques inundables están localizados sobre la porción oriental del área de 12,45 a las cuales equivalen al 28,1% de la superficie objeto de estudio, conforman una zona que permanece inundado durante varios meses del año, por lo que la vegetación allí presente soporta un alto estrés hídrico. Al interior del manantial se encuentran en forma abundante, *Sterculia apetala*, *Anacardium excelsum*, *Nymphaea corardii*, *Sagittaria* sp, y *Eleocharis* sp. Dominando la superficie del cuerpo de agua; en las orillas se encuentran árboles con diámetros entre 10 y 40 cm y alturas entre 10 y 15 m, entre los que se destacan por su abundancia, *Triplaris* sp. (Barriga de culebra), *Eugenia* sp. (Arrayán), *Bactris guineensis* (Palma grata), *Hura crepitans* (ceiba de leche) y *Crateva tapia* (Toco); seguidos por las ceibas *Hura crepitans* y *Ceiba Pentandra* que presentan diámetros superiores a un metro y alturas entre 18 y 25 m, en algunas zonas se observan *Bauhinia glabra* y *Bromelia chrysantha* (Corpogujira, 2011).

Los bosques no inundables comprenden cerca de 6,55 ha están localizados en la porción plana alrededor del espejo de agua del manantial de Cañaverales, y en las colinas circundantes cual se extiende hacia el norte aproximadamente en una longitud aproximada de 250 m hasta donde las condiciones de suelo permiten la presencia de vegetación de tipo arbóreo donde predomina un bosque multiestratificado con elementos emergentes de *Brosimum alicastrum* (Guáimaro), *Schinopsis balansae* (Quebracho colorado) y *Hura crepitans* (Ceiba) que alcanzan los 35 m de altura (Corpogujira, 2011).

El matorral espinoso constituye la porción más extensa con 16,05 ha conformada por elementos arbustivos y sub-arbóreos de porte bajo y copas amplias y aparasoladas, que presentan alturas entre los 5 y 10 m, con diámetros que no superan los 10 cm. No hay presencia de un estrato arbóreo superior ya que los individuos de mayor porte alcanzan solamente los 15 m

## **DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

de altura, en general, se encuentra representada por especies como el *Propopis juliflora* (trupillo), *Bursera simaruba* (resbala mono) *Mimosa arenosa* (espinito rojo) y varias del género *Machaerium*, no se observan plantas epífitas, pero si algunos bejucos (*Buahinia glabra*) así como la poca existencia de hierbas en el estrato herbáceo (UIS y Corpoguajira, 2011).

En términos generales el área cuenta en promedio con 104 especies, agrupadas en 88 géneros y 45 familias; las familias que presentan mayor número de especies son *Fabaceae*, *Capparaceae*, *Bignoniaceae*, *Caesalpinaceae* y *Mimosaceae*, (IAvH, 1998). Los géneros que son endémicos y restringidos a bosques secos tropicales en Colombia son *Amyris*, *Bourreria*, *Bulnesia*, *Bursera*, *Caesalpinia*, *Crecentia*, *Gyrocarpus*, *Malpighia* y *Ximena* y entre las especies amenazadas se encuentran el Carreto (*Aspidosperma polyneuron*), Guayacán (*Bulnesia arbórea*), Ébano (*Libidibia ebano*) y Palma Grata (*Bactris guineensis*) (IAvH, 1998).

Los bosques del manantial de cañaverales están cubiertos por suelos, bien drenados, moderadamente profundos, limitados por la presencia de rocas y de calizas y con susceptibilidad baja a media a la erosión de tipo laminar (IGAC, 1980). Su profundidad efectiva es variable y está limitada por la presencia de calizas y areniscas por capas endurecidas, piedra y gravilla, tanto en superficie como en el perfil con textura moderadamente fina.

### **5.4 MUESTRA POBLACIONAL**

Para el seguimiento de los procesos de descomposición de las especies vegetales más representativas de cada formación vegetal de estudio, se colectaron durante el primer mes de monitoreo las hojas previo a la senescencia de cada especie. Las hojas de cada especie se utilizaron como masa inicial conocida (10g) y fueron introducidas en grupos de 6 bolsas de 20

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

x 20cm por especie. Se empleó una malla con poros de 0,5 mm, suficientemente pequeña para evitar pérdidas de biomasa importantes, la entrada de luz y que al mismo tiempo permitió la actividad microbiana aeróbica y la entrada libre de animales pequeños del suelo. Las bolsas se cosieron con hilo de nylon y se colocaron en el suelo, sujetadas por grapas, para prevenir que se perdieran por escorrentías superficiales (Molina *et al.*, 2017).

**Tabla 4.**

*Especies utilizadas en la muestra poblacional.*

UNIDADES	ESPECIES REPRESENTATIVAS
Bosque Inundable	<i>Sterculia apetala</i> (camajon)
	<i>Anacardium excelsum</i> (caracolí)
Bosque no Inundable	<i>Brosimum malicastrum</i> (Guaimaro)
	<i>Schinopsis balansae</i> (colorado)
Matorral Espinoso	<i>Bursera simaruba</i> (Resbala mono)
	<i>Prosopis juliflora</i> (trupillo)

*Nota: En esta tabla se encuentran las especies a evaluar para conocer el aporte de nutrientes de la hojarasca al suelo en el Manantial de Cañaverales, La Guajira. (Corpoguajira, 2011)*

En total se recolectaron 3 bolsas por formación vegetal de estudio (una cada 15 días durante 45 días) para un total 18 bolsas por evento de monitoreo, mediante 3 colectas abarcando los periodos seco y lluvioso. El ensayo por tanto consistió de 27 bolsas en total para las 6 especies estudiadas. Retiradas las bolsas en campo, se trasladaron al laboratorio, en donde el material se extrajo y se limpió con un pincel con ayuda de agua destilada hasta eliminar completamente partículas de suelo adherido, raíces, pequeños invertebrados. Posteriormente se secó a 60°C hasta peso constante para seguidamente determinar el contenido de materia orgánica.

Para determinar el coeficiente de descomposición de la hojarasca se utilizará un índice de mineralización (suponiendo que existe un sistema de equilibrio) utilizando el modelo exponencial negativo propuesto por (Escalante, 2012).  $M_t = M_i e^{-kt}$ , en donde  $M_t$  será la masa remanente en el tiempo  $t$ ,  $M_i$  será la masa inicial de hojarasca,  $-k$  será el coeficiente exponencial de descomposición y  $t$  el lapso de tiempo durante el cual se llevará el proceso (Escalante, Rodríguez y Gutiérrez, 2012).

## 5.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de tipo descriptivo, experimental y de corte transversal.

**Descriptivo:** Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, -comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis (Dankhe, 1986). El estudio es de este tipo dada la descripción que se hizo sobre el potencial enzimáticos de los hongos celulolíticos que se logren aislar de la hojarasca que generan las formaciones vegetales en el manantial de Cañaverales – La Guajira, a su vez dicha descripción

permitió establecer los patrones temporales de riqueza, abundancia y biomasa enzimático de dichos hongos en función de la degradación de la hojarasca.

**Experimental:** La investigación experimental es un tipo de investigación cuantitativa. En esta la variable que se manipula se le conoce como variable independiente. Las variables dependientes son aquellas que son afectadas por la manipulación de la variable independiente. (Survey, 2022). La investigación, es experimental porque permitió estimar las tasas de descomposición y retorno de nutrientes de la hojarasca generada por las diversas especies nativas y exóticas.

**Corte transversal:** El diseño de estudios transversales se define como el diseño de una investigación observacional, individual, que mide una o más características (variables), en un momento dado.

## **5.7 DESARROLLO METODOLOGICO**

Esta investigación se realizaron dos fases, una primera fase que corresponde a los análisis, muestras y demás procedimientos que se realizarán *in situ* y que no requerirán el traslado de material hacia el laboratorio u otro sitio, la segunda fase correspondió a los procedimientos que se realizarán en el laboratorio de la Universidad Popular del Cesar.

### **5.7.1 ETAPA 1: Identificar hongos celulolíticos presentes en el proceso de descomposición de la hojarasca aportada por las especies vegetales establecidas en el manantial de cañaverales durante eventos de lluvia y sequía.**

#### **5.7.1.1 ACTIVIDAD 1.1: Elección de los puntos estratégicos, toma de muestras**

**DESCRIPCION:** Se escogieron los puntos estratégicos dentro de la muestra poblacional donde se realizó el procedimiento para prueba de muestra.

#### **5.7.1.2 ACTIVIDAD 1.2: AISLAMIENTO DE HONGOS CELULOLITICOS**

**DESCRIPCION:** Aislamiento primario: las muestras se procesaron en el laboratorio de la Universidad Popular del Cesar. Se pesaron 10 g de hojarasca de cada muestra recolectada y se trituraron utilizando un mortero estéril, luego los 10 g fueron llevados a 90 ml de agua peptonada 0,1 % (p/v). Posteriormente, se diluyeron de forma seriadas de  $10^{-1}$  a  $10^{-5}$  en agua peptonada 0,1 % (p/v) (Ortiz, 2010). A partir de las diluciones preparadas se realizó una siembra por triplicado en agar Sabouraud y se incubo por 5 días a temperatura ambiente. Pasado el período de incubación, se seleccionaron las colonias según sus características morfológicas macroscópicas

como color, forma, bordes, tamaño, textura, seguidamente se realizo una siembra en tubos con agar Sabouraud, para asilar y purificar cada colonia (Guzmán *et al.*, 2014).

Aislamiento secundario: A partir de los hongos obtenidos en el aislamiento primario se realizaron repiques en agar Carboximetilcelulosa (CMC) para evidenciar que estos utilizan la celulosa como fuente de Carbono mediante proceso hidrolítico, se incubaron por 72 horas a temperatura ambiente ( $29^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ ), para posteriormente identificarlos (Guzmán *et al.*, 2014)

### **ACTIVIDAD 1.3: IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE HONGOS CELULOLÍTICOS.**

**DESCRIPCIÓN:** Para la identificación se escogieron las cepas que presenten mayor efectividad en la hidrólisis de la celulosa en el paso anterior. Se realizaron descripciones macroscópicas de las colonias, teniendo en cuenta color, forma y tamaño. Para la descripción microscópica se realizaron montajes con azul de lactofenol, este permitió observar las estructuras fúngicas, puesto que tiene la capacidad de adherirse a estas y conservarlas (Castro y Forero, 2010), posteriormente se observaron en el microscopio en los objetivos de 10x y 40x y se describieron las características microscópicas, para determinar género y especie según claves taxonómicas especializadas.

## **5.7.2 ETAPA 2: ESTABLECER LOS PATRONES TEMPORALES DE RIQUEZA, ABUNDANCIA, BIOMASA Y POTENCIAL ENZIMÁTICO DE HONGOS CELULOLÍTICOS EN FUNCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE LA HOJARASCA APORTADA POR LAS ESPECIES NATIVAS Y EXÓTICAS**

### **ACTIVIDAD 2.1: DETERMINACIÓN DE ABUNDANCIA, RIQUEZA Y BIOMASA EN HONGOS CELULOLÍTICOS**

**DESCRIPCIÓN:** Se utilizaron frascos Erlenmeyer de 250 ml a los cuales se les añadió 50 ml del medio de cultivo, se cubrieron con tapones de algodón y gasa y se llevaron a la autoclave a 121°C a esterilización durante 15 minutos. Después de enfriado, cada frasco se inoculó con una jeringuilla automática que contenga 3 ml de una suspensión de esporas con una concentración de  $10^8$  conidios  $\text{ml}^{-1}$ , preparado con agua destilada – estéril y Tween 80 a una concentración de 0.05 %, posteriormente los frascos se colocaron en una zaranda a 120 golpes/min a una temperatura de  $25 \pm 2$  °C. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones por tratamiento. Se evaluó a los 7 y 9 días. Transcurrido este tiempo, el contenido de los frascos se filtró al vacío y la biomasa obtenida se colocó en una estufa durante 24 horas a una temperatura de 80 °C con el objetivo de obtener los valores de masa seca, la cual se expresará en  $\text{g.L}^{-1}$ . Los resultados obtenidos se procesaron mediante un análisis de varianza de clasificación simple para cada momento de evaluación.

Para determinar la abundancia, se observaron al microscopio óptico y se contaron las esporas de cada preparación de las muestras, obteniendo el número de esporas/100 g de suelo seco.

### **Obtención y cuantificación de esporas**

Se pesaron 25 g de cada una de las muestras y para separar las esporas se realizó la técnica de tamizado húmedo y decantación, seguida de una centrifugación con un gradiente de sacarosa (20 - 60%). Las esporas obtenidas se separaron usando un estereoscopio.

Con las esporas de cada muestra se hizo una preparación permanente usando el método propuesto por Koske y Tessier (Barreno y Pérez, 2003), para esto, se colectaron las esporas en un vidrio de reloj con agua destilada, usando una pipeta Pasteur con punta fina, posteriormente se transfirieron a un portaobjetos con la menor cantidad de agua posible, una vez que se evapore el agua se les agrego una gota de alcohol polivinilico-lacto-glicerol y otra del reactivo de Melzer, se mezclaron, se dejaron secar al aire y por último se cubrieron con un cubre objeto, todas las preparaciones se dejaron secar en cajas de Petri tapadas a temperatura ambiente por un día. Las preparaciones se presionaron con una goma de lápiz para romper las esporas y observar las capas de sus paredes.

### **Identificación de especies**

Para la identificación de las especies se tomaron en cuenta las siguientes características de cada espora: tamaño, color, ornamentación, el número de capas de la pared, modo de oclusión de la hifa, forma de la hifa, presencia o no de vesículas lipídicas. Se hizo un borrador numerando la cantidad de esporas que tenían las mismas características; las descripciones morfológicas originales y las características mencionadas se confrontaron con las claves taxonómicas propuestas por Barreno y Pérez (2003), para la identificación definitiva de las morfo-especies.

Para la obtención de la riqueza de especies se contabilizaron todas las especies presentes en cada sitio y muestra. Posteriormente, se promediaron el número de especies presentes en cada muestra (Hojarasca en trampas y hojarasca en suelo).

### **5.7.3 ETAPA 3: ESTIMAR LAS TASAS DE DESCOMPOSICIÓN Y RETORNO DE NUTRIENTES DE LA HOJARASCA GENERADA POR ESPECIES NATIVAS Y EXÓTICAS ASOCIADAS CON LAS COMUNIDADES FÚNGICAS DURANTE EVENTOS DE LLUVIA Y SEQUÍA.**

#### **5.7.3.1 ACTIVIDAD 3.1: ESTIMACIÓN DE LAS TASAS DE DESCOMPOSICIÓN DE LA HOJARASCA.**

**DESCRIPCION:** Los datos de producción y descomposición de la hojarasca, fueron sometidos a un análisis de varianza utilizando un diseño completamente al azar (R Development Core Team, 2016). Para probar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas y aleatoriedad de los aportes de la hojarasca y los procesos de descomposición con relación a los microorganismos; los datos fueron sometidos a pruebas estadísticas de Kolmogorov-Smirnov, ShapiroWilk y Levene (R Development Core Team, 2016). Se realizó un análisis de varianza para determinar las variaciones en las medias del potencial enzimático de los hongos, y para hallar diferencias significativas entre las medias, se aplicó test de Tukey (P-value<0,05). Todos los análisis estadísticos se realizaron usando el paquete computacional SPSS (StatisticalPackageforthe Social Sciences) versión 25.

## 6. RESULTADOS Y ANALISIS

En el siguiente apartado se evidencian los datos de producción y descomposición de la hojarasca, los cuales se sometieron a un análisis de varianza utilizando un diseño completamente al azar según Steel y Torie, (1980). Estos resultados demuestran el potencial enzimático de los hongos celulíticos aislados en la hojarasca que se genera en las distintas formaciones vegetales en el manantial de Cañaverales en la Guajira, además se conoció de forma directa cual es la tasa de descomposición de la hojarasca, para finalmente determinar el aporte de nutrientes al suelo por parte los hongos celulíticos en este ecosistema considerado reserva natural protegida (CORPOGUAJIRA, 2011).

### **ETAPA 1: IDENTIFICACION DE HONGOS CELULOLÍTICOS PRESENTES EN EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE LA HOJARASCA APORTADA POR LAS ESPECIES VEGETALES ESTABLECIDAS EN EL MANANTIAL DE CAÑAVERALES DURANTE EVENTOS DE LLUVIA Y SEQUÍA**

**Tabla 5.** *Hongos presentes en la descomposición de la hojarasca.*

<b>HONGOS</b>	<i>Aspergillus flavus</i>
	<i>Aspergillus niger</i>
	<i>Cladosporium sp</i>
	<i>Cladosporium herbarium</i>
	<i>Trichoderma reesei</i>
	<i>Fusarium sp</i>
	<i>Penicillium sp</i>
	<i>Curvularia sp</i>
<i>Trichoderma sp</i>	

*Nota: Esta tabla muestra las diferentes especies de hongos presentes en el proceso de descomposición de la hojarasca.*

Se realizaron dos salidas de campo, una en época de lluvia y otra en época de sequía respectivamente, en donde inicialmente se recolectó una muestra de suelo para analizar el análisis de sus propiedades fisicoquímicas que se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 6.**

*Propiedades Fisicoquímicas del horizonte A del suelo del manantial de Cañaverales.*

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS HORIZONTE A DEL SUELO														
pH	S	C	N	C:N	Ca	Mg	K	CIC	P	Fe	Mn	Zn	Cu	Da
	%				cmol·kg <sup>-1</sup>					mg·kg <sup>-1</sup>			Mg·m <sup>-3</sup>	
4,7	0	6,7	0,32	20,51	0,16	0,18	0,13	7,47	1,1	98,8	1,36	3,16	1	0,57

*Nota: Esta tabla describe los resultados obtenidos al análisis de las propiedades fisicoquímicas realizados al suelo de estudio.*

La organización de la fase sólida del suelo viene condicionada en gran parte por su composición; de ésta también dependen las características del espacio poroso, en el que se desarrollan procesos como el intercambio de iones y los fenómenos de transferencia de agua y calor. Aunque en la fase sólida ocurren numerosas reacciones fisicoquímicas, su composición se mantiene relativamente estable, si se considera a escala macroscópica y para procesos a corto plazo. En los horizontes superficiales (Horizonte A) de los suelos agrícolas, la estructura natural está sometida a modificaciones súbitas inducidas por laboreo, lo que puede originar la reordenación, degradación y compactación de los elementos estructurales. El laboreo, a medio plazo, modifica el estatus orgánico del suelo, de donde se infiere la importancia del estudio de la evolución de la estabilidad de la estructura en función de la dedicación.

Del mismo modo los resultados obtenidos en este estudio con relación a las propiedades fisicoquímicas mostraron la presencia de nutrimentos vitales como Azufre, Carbono, Nitrógeno, Calcio, Magnesio, Potasio, Fosforo entre otros los cuales favorecen el metabolismo microbiano. Por otra parte, Gelves (2008), menciona que la biomasa microbiana aumenta de acuerdo con la disponibilidad de materia orgánica en el medio, ya que esta aporta los nutrientes necesarios para el crecimiento de los diferentes microorganismos.

De acuerdo con Bonilla et al. (2008), quienes expresan que los residuos vegetales depositados hojas, ramas, flores y frutos son una fuente valiosa de materia orgánica que después de sufrir procesos de descomposición liberan elementos nutritivos que se incorporan al suelo para ser nuevamente utilizados por las plantas; mientras que Málaga y Cabrera (2017), exponen que los microorganismos capaces de degradar la celulosa constituyen un grupo funcional importante en la ecología, ya que participan en los ciclos del carbono y del nitrógeno, además recuperan y reciclan materia y energía por medio de su maquinaria enzimática.

Las propiedades fisicoquímicas del suelo constituyen un elemento importante para el metabolismo microbiano y por ende ellos tendrían mayor potencial, lo que se traduce en una alta tasa de degradación, de acuerdo con lo señalado con Mora (2006), el nutrimento más requerido es el nitrógeno, este elemento es el que con más frecuencia limita actividad de descomposición de los microorganismos en los materiales orgánicos del suelo. De igual modo, señala que la falta de elementos como el azufre, calcio y fósforo puede afectar la actividad antimicrobiana en el suelo.

**ETAPA 2: ESTABLECIMIENTO DE LOS PATRONES TEMPORALES DE BIOMASA, ABUNDANCIA, RIQUEZA Y POTENCIAL ENZIMÁTICO DE HONGOS CELULOLÍTICOS EN FUNCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE LA HOJARASCA APORTADA POR LAS ESPECIES NATIVAS Y EXÓTICAS**

Luego se procedió a la determinación de los patrones temporales de biomasa, abundancia y riqueza donde se obtuvieron los siguientes resultados:

**BIOMASA**

La biomasa total de hongos celulolíticos fue determinada a partir de la hojarasca proporcionada por las especies vegetales.

**Tabla 7.** Determinación de biomasa de especies de hongos celulolíticos en época de lluvia y sequía

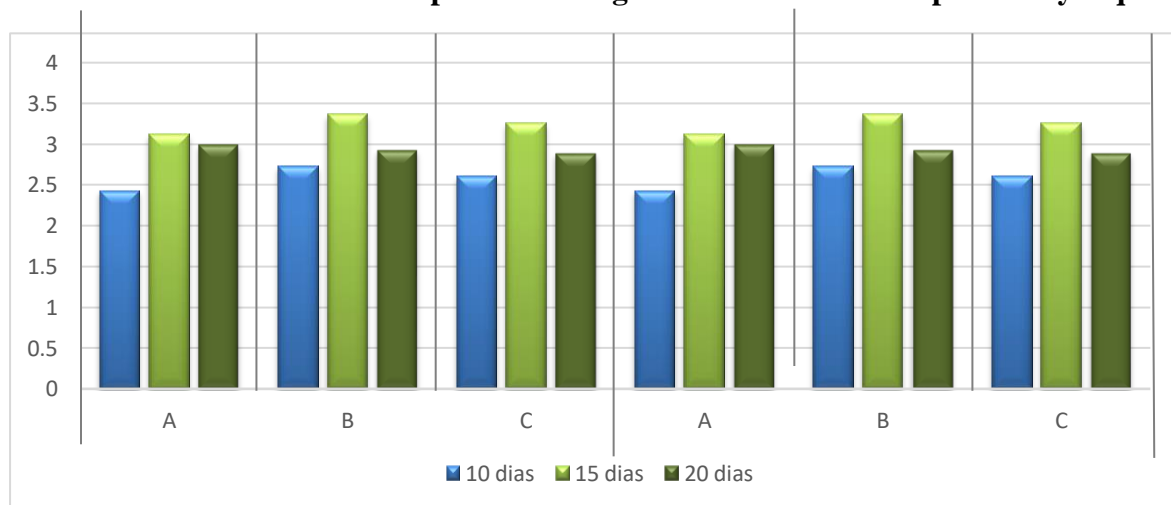
<b>BIOMASA (g.L-1)</b>										
<b>Complejo de hongos (días)</b>	<b>LLUVIA</b>					<b>SEQUÍA</b>				
	<i>Repetición</i>	<i>Biomasa</i>	$\bar{X}$	<i>DS</i>	$\bar{X} \pm DS$	<i>Repetición</i>	<i>Biomasa</i>	$\bar{X}$	<i>DS</i>	$\bar{X} \pm DS$
<b>10</b>	a	2,43	2,59	0,15	2,59±0,15	a	0,98	1,00	0,02	1,00±0,02
	b	2,73				b	1,02			
	c	2,61				c	0,99			
<b>15</b>	a	3,12	3,25	0,13	3,25±0,13	a	2,04	2,00	0,03	2,00±0,03
	b	3,37				b	1,98			
	c	3,26				c	1,98			
<b>20</b>	a	3	2,94	0,06	2,94±0,06	a	1,14	1,19	0,05	1,19±0,05
	b	2,93				b	1,19			
	c	2,89				c	1,24			

La situación descrita, dio como resultado que en los primeros 10 días; en tiempo de lluvia la biomasa genero 2,59±0,15 y en sequía 1,00±0,02 respectivamente, luego en 15 días se obtuvo

para el tiempo de lluvia  $3,25 \pm 0,13$  y la sequía  $2,00 \pm 0,03$ ; por último, en 20 días para el tiempo de lluvia se obtuvo un resultado de  $2,94 \pm 0,06$  y en tiempo de sequía  $1,19 \pm 0,05$ . Con el análisis de los resultados obtenidos en esta tabla 5 (Tabla 5) se observa que se determina mayor presencia de biomasa de estos hongos en temporada de lluvia que temporada de sequía, y se obtiene mayor número de especies de hongos celulolíticos después de 15 días. Lo que conlleva a plantear que a mayor porcentaje de humedad en el medio se obtendrá una mayor biomasa de estos microorganismos, y que en tiempos de humedad relativamente baja no.

La siguiente grafica representa la información contenida en la tabla 7.

**Ilustración 3. Biomasa de especies de hongos celulolíticos en tiempo lluvia y sequía.**



*Nota: la gráfica anterior describe la biomasa de las especies de hongos celulolíticos en tiempos de sequía y lluvia.*

Una posible argumentación del aumento de la biomasa de hongos en temporada humedad puede estar relacionada con la mayor cantidad de macro-agregados en este uso, ya que la

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

formación de estos puede estar conducida, inicialmente por mecanismos de enlace que involucran a raíces e hifas de hongos (Cabria, 2005), y Seoanez en el 2000 nos explica que las hifas de los hongos tienden a situarse en los espacios entre agregados del suelo recubriéndolos y estabilizándolos mediante la producción de polisacáridos y en forma mecánica por medio de las hifas.

**ABUNDANCIA**

La determinación de patrón de abundancia permite estimar la representación relativa de una especie en un ecosistema particular, en este caso, se expresa el porcentaje de los hongos celulolíticos aislados e identificados en el ecosistema de bosque seco tropical del manantial de cañaverales; la siguiente tabla muestra los resultados de abundancia de hongos celulolíticos.

**Tabla 8.** Patrón temporal de abundancia en época de lluvia y sequía.

Hongos	ABUNDANCIA							
	LLUVIA				SEQUIA			
	HSpN	HSpE	TOTAL	%	HSpN	HSpE	TOTAL	%
<i>Aspergillus flavus</i>	11	12	23	20%	3	2	5	21%
<i>Aspergillus niger</i>	9	8	17	15%	2	2	4	17%
<i>Cladosporium sp</i>	4	7	11	9%	0	1	1	4%
<i>Cladosporium herbarium</i>	10	8	18	16%	2	1	3	13%
<i>Trichoderma reesei</i>	6	1	7	6%	1	0	1	4%
<i>Fusarium sp</i>	4	2	6	5%	0	0	0	0%
<i>Penicillium sp</i>	8	2	10	9%	4	0	4	17%
<i>Curvularia sp</i>	1	0	1	1%	0	0	0	0%
<i>Trichoderma sp</i>	14	9	23	20%	3	3	6	25%
<b>TOTAL</b>	<b>67</b>	<b>49</b>	<b>116</b>	<b>100%</b>	<b>15</b>	<b>9</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>

**\*HSpN: Hojarasca de Especies Nativas; HSpE: Hojarasca de Especies Exóticas**

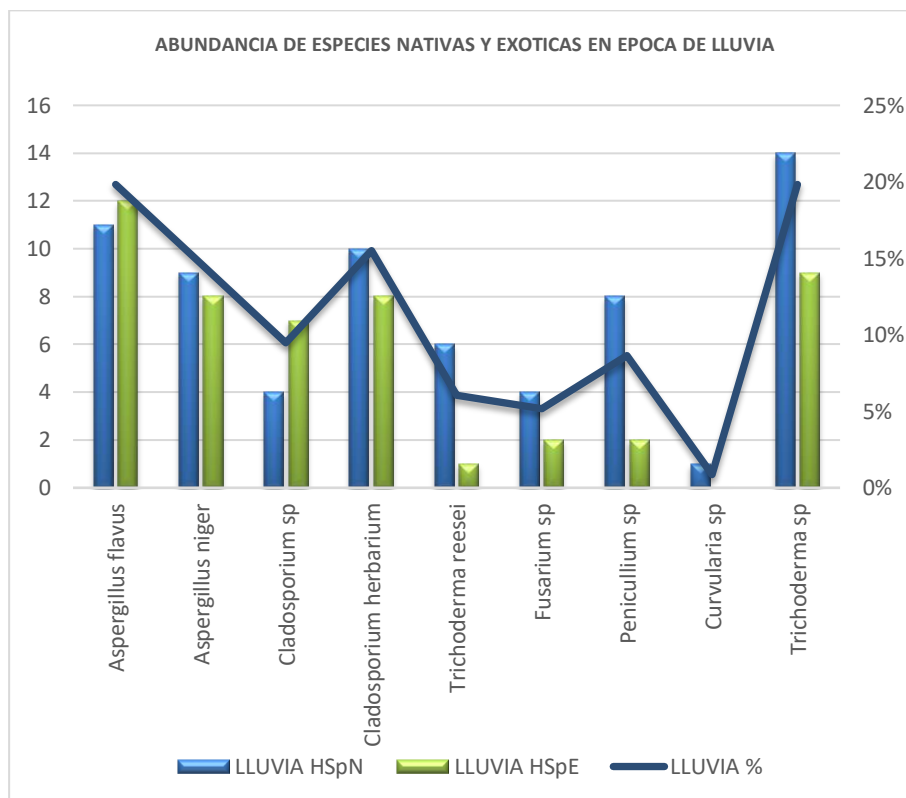
*Nota: Esta tabla describe la abundancia de los diferentes hongos presentes en la descomposición de la hojarasca tanto en tiempos de sequía como en los de lluvia*

Con estos resultados se evidencia la diferencia en el número de especies de hongos con relación al tiempo de lluvia y tiempo de sequía, es decir, que en época lluviosa aumenta la biomasa microbiana, esto se debe a la humedad en el medio, la cual favorece el crecimiento fúngico (Ramos y Zuñiga, 2008). También se puede deducir, que, debido a la alta actividad microbiana en el suelo durante tiempos de lluvia, se propician condiciones fisicoquímicas óptimas para el correcto desarrollo de los procesos edáficos, por tanto, es importante resaltar que la presencia de agua proporciona mejores condiciones ambientales para el desarrollo microbiano, y por ende, mayores índices de actividades enzimáticas, dentro de las cuales resalta la actividad celulolítica.

Las siguientes graficas representan la información contenida en la tabla 6, discriminándolas por los patrones temporales de lluvia y sequía.

**Ilustración 4.**

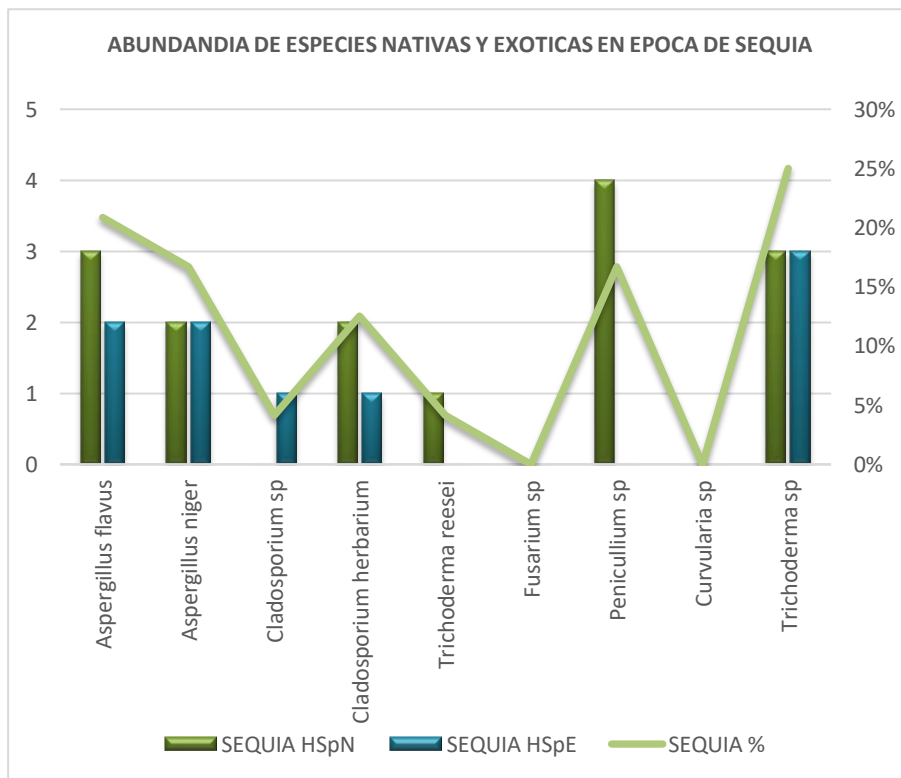
*Abundancia de especies nativas y exóticas en época de lluvia.*



*Nota: Esta grafica describe los resultados obtenidos en cuanto a la abundancia de las especies nativas y exóticas de los hongos en la época de lluvia.*

**Ilustración 5.**

*Abundancia de especies nativas y exóticas en época de sequía.*



*Nota: Esta grafica describe los resultados obtenidos en cuanto a la abundancia de las especies nativas y exóticas de los hongos en la época de lluvia.*

## RIQUEZA

La riqueza en ecología hace referencia al porcentaje de las especies en un ecosistema en particular, para este caso se determinó el patrón de riqueza de hongos celulolíticos en el manantial de cañaverales, La Guajira, comparando los resultados obtenidos en tiempo de lluvia y sequía.

**Tabla 9.**

*Patrón temporal de riqueza en época de lluvia y sequía.*

RIQUEZA								
Hongos	LLUVIA				SEQUIA			
	HSpN	HSpE	TOTAL	%	HSpN	HSpE	TOTAL	%
<i>Aspergillus flavus</i>	1	1	2	12%	1	1	2	18%
<i>Aspergillus niger</i>	1	1	2	12%	1	1	2	18%
<i>Cladosporium sp</i>	1	1	2	12%	0	1	1	9%
<i>Cladosporium herbarium</i>	1	1	2	12%	1	1	2	18%
<i>Trichoderma reesei</i>	1	1	2	12%	1	0	1	9%
<i>Fusarium sp</i>	1	1	2	12%	0	0	0	0%
<i>Penicillium sp</i>	1	1	2	12%	1	0	1	9%
<i>Curvularia sp</i>	1	0	1	6%	0	0	0	0%
<i>Trichoderma sp</i>	1	1	2	12%	1	1	2	18%
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>100%</b>
<b>*HSpN: Hojarasca de Especies Nativas; HSpE: Hojarasca de Especies Exóticas</b>								

*Nota: Esta tabla describe los valores obtenidos en cuanto al patrón temporal de riqueza de los diferentes hongos tanto en época de sequía como en época lluviosa.*

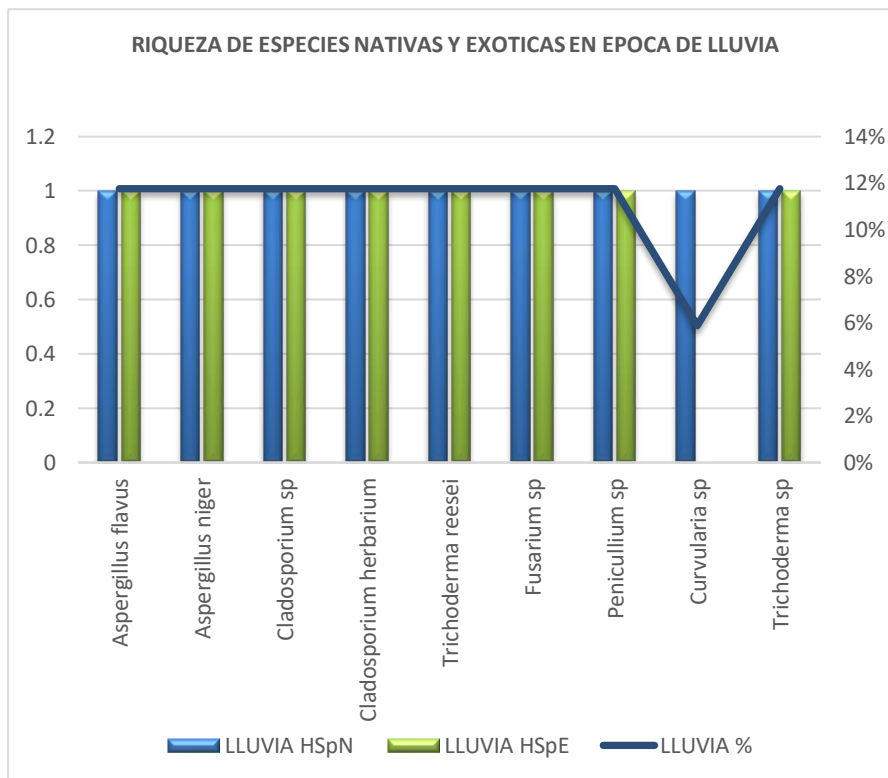
De la anterior tabla se pueden apreciar números 1 que indican la presencia de las especies estudiadas y números 0 que indican ausencia de las mismas. De esto se puede deducir que en época de lluvia se reporta mayor riqueza de hongos celulolíticos aislados de material senescente tanto de especies vegetales nativas como en especies vegetales exóticas, mientras que, durante los tiempos de sequía se reporta mayor presencia de hongos celulolíticos en hojarasca proveniente de especies vegetales nativas.

Con estos resultados se evidencia la diferencia en el número de especies de hongos con relación al tiempo de lluvia y tiempo de sequía, es decir, que en época lluviosa aumenta la riqueza microbiana, esto se debe a la humedad en el medio la cual favorece el crecimiento fúngico (Ramos y Zúñiga, 2008).

En las siguientes graficas se expresan los resultados contenidos en la tabla 9.

**Ilustración 6.**

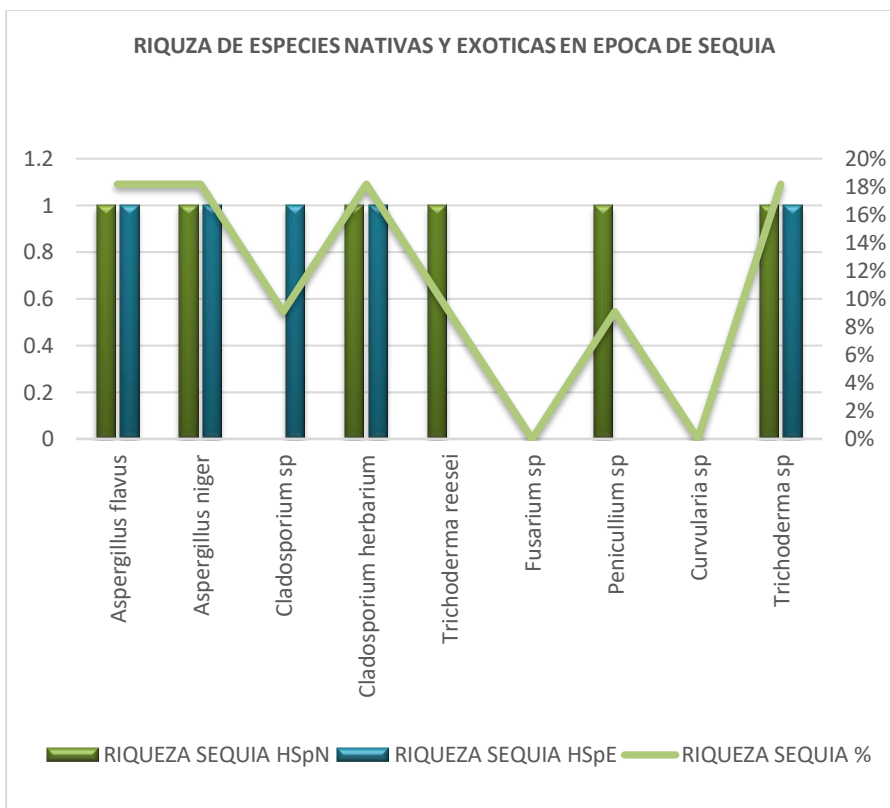
*Riqueza de especies nativas y exóticas en época de lluvia.*



*Nota: esta Grafica describe el comportamiento de la riqueza de las especies nativas y exóticas en la época de lluvia.*

**Ilustración 7.**

*Riqueza de especies nativas y exóticas en época de sequía.*



*Nota: esta Grafica describe el comportamiento de la riqueza de las especies nativas y exóticas en la época de lluvia.*

De acuerdo con Ferrer *et al.*, (2011) la mayor parte de la celulosa en la naturaleza es hidrolizada por hongos filamentosos, debido a que poseen una gran maquinaria enzimática, además tienen la capacidad de adaptarse a casi todas las condiciones ambientales. Por su parte, Aceñalozza, *et al.*, (2009) indican que la hojarasca que cae al suelo forma un estrato orgánico, el cual cubre el suelo y lo protege de los cambios de temperatura y de humedad, y también permite que retornen elementos nutritivos en una cantidad importante.

De igual forma, la materia orgánica es descompuesta por la actividad de los diferentes grupos microbianos, los cuales liberan los nutrientes al suelo, dejándolos disponibles para que sean nuevamente absorbidos por las plantas (Martínez y Pugnaire, 2009). Por otro lado, Gaspar *et al.*, (2015) concluyen que la producción y descomposición de la hojarasca son procesos fundamentales para la conservación de las diferentes formaciones vegetales, ya que suscitan la circulación de los nutrimentos, garantizando así el retorno de los diferentes elementos que necesitan los diferentes organismos para su desarrollo.

### **ETAPA 3: ESTIMACION DE LAS TASAS DE DESCOMPOSICIÓN Y RETORNO DE NUTRIENTES DE LA HOJARASCA GENERADA POR ESPECIES NATIVAS Y EXÓTICAS ASOCIADAS CON LAS COMUNIDADES FÚNGICAS DURANTE EVENTOS DE LLUVIA Y SEQUÍA**

#### **TASA DE DESCOMPOSICION DE HOJARASCA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Con el fin de determinar el retorno potencial de nutrientes del suelo a la planta, los hongos identificados se sometieron a ensayos de actividad enzimática en donde se calculó la respectiva tasa de descomposición de la hojarasca.

**Tabla 10.**

*Tasa de degradación de Hojarasca aportada por especies nativas y exóticas durante época de lluvia.*

LLUVIA										
CEPA			ESPECIES NATIVAS			ESPECIES EXÓTICAS			HONGO	
			DH	X DH	DS	DH	X DH	DS		
H	A	S	a	7,67	7,67	0,06	4,76	4,76	0,11	<i>Aspergillus flavus</i>
			b	7,73			4,87			
			c	7,62			4,65			
	B	C	a	6,12	6,17	0,06	3,71	3,74	0,09	<i>Aspergillus flavus</i>
			b	6,23			3,84			
			c	6,17			3,67			
	C	S	a	10,3	10,47	0,38	5,67	5,67	0,07	<i>Aspergillus niger</i>
			b	10,9			5,6			
			c	10,2			5,73			
	D	S	a	9,43	9,46	0,04	4,12	4,12	0,12	<i>Cladosporium sp</i>
			b	9,51			4			
			c	9,44			4,23			
	E	C	a	10,3	10,13	0,15	5,89	5,89	0,01	<i>Cladosporium herbarium</i>
			b	10,1			5,89			
			c	10			5,88			
	F	S	a	11,3	11,33	0,35	6,12	6,17	0,06	<i>Trichoderma reesei</i>
			b	11,7			6,23			
			c	11			6,17			
G	C	a	4,3	4,40	0,26	2,34	2,49	0,15	<i>Fusarium sp</i>	
		b	4,2			2,64				
		c	4,7			2,49				
H	S	a	3,17	3,18	0,02	1,23	1,21	0,02	<i>Fusarium sp</i>	
		b	3,21			1,2				
		c	3,17			1,21				
I	C	a	4,52	4,51	0,01	2	2,03	0,03	<i>Aspergillus flavus</i>	
		b	4,51			2,03				
		c	4,51			2,05				
A	S	a	7,34	7,34	0,02	5,54	5,55	0,01	<i>Penicillium sp</i>	
		b	7,35			5,55				
		c	7,32			5,55				
B	C	a	9,43	9,50	0,06	5,98	5,97	0,02	<i>Cladosporium sp</i>	
		b	9,54			5,95				
		c	9,54			5,99				

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

C	S	a	9,34	9,34	0,02	4,67	4,61	0,05	<i>Curvularia sp</i>
		b	9,32			4,6			
		c	9,36			4,57			
D	S	a	9,52	9,57	0,05	6,86	6,64	0,20	<i>Curvularia sp</i>
		b	9,58			6,47			
		c	9,62			6,58			
E	C	a	9,42	9,43	0,04	5,39	5,39	0,02	<i>Trichoderma sp</i>
		b	9,47			5,4			
		c	9,4			5,37			
F	S	a	9,42	9,43	0,01	4,68	4,56	0,16	<i>Trichoderma sp</i>
		b	9,43			4,37			
		c	9,44			4,62			
G	S	a	10,4	10,45	0,04	6	6,03	0,08	<i>Penicillium sp</i>
		b	10,47			6,12			
		c	10,48			5,96			
H	C	a	11,43	11,36	0,06	6,19	5,80	0,59	<i>Cladosporium herbarum</i>
		b	11,34			6,1			
		c	11,32			5,12			
I	C	a	12,32	12,33	0,04	6,89	6,92	0,04	<i>Cladosporium herbarum</i>
		b	12,3			6,9			
		c	12,37			6,97			
J	S	a	10,43	10,45	0,04	5,83	5,83	0,02	<i>Aspergillus niger</i>
		b	10,42			5,85			
		c	10,49			5,81			
K	S	a	9,43	9,46	0,03	4,23	4,22	0,04	<i>Aspergillus niger</i>
		b	9,45			4,26			
		c	9,49			4,18			
L	C	a	10,43	10,40	0,02	3,57	3,58	0,02	<i>Trichoderma sp</i>
		b	10,39			3,61			
		c	10,39			3,57			
M	C	a	9,34	9,34	0,02	3,98	3,85	0,11	<i>Fusarium sp</i>
		b	9,35			3,79			
		c	9,32			3,78			
N	C	a	9,98	9,98	0,03	3,68	3,62	0,13	<i>Trichoderma sp</i>
		b	9,95			3,47			
		c	10			3,71			
O	S	a	10,01	10,05	0,04	4,12	4,28	0,26	<i>Penicillium sp</i>
		b	10,04			4,15			
		c	10,09			4,58			
<b>TESTIGO</b>				<b>11,34</b>			<b>8,47</b>		<i>Pleurotus ostreatus</i>

*Nota: Esta tabla muestra los resultados obtenidos en cuanto a la tasa de degradación de Hojarasca aportada por especies nativas y exóticas durante época de lluvia.*

Entre los resultados obtenidos se evidencio hongos celulolíticos con un gran potencial enzimático ante las especies nativas, estos son *Aspergillus niger*, *Penicillium sp*, *Cladosporium herbarium*, *Trichoderma sp* y *Trichoderma reseei* y en menor proporción *Fusarium sp* y *Aspergillus flavus*. Y ante las especies exóticas se expresan con mayor potencial géneros como *Curvularia sp*, *Trichoderma reseei*, *Cladosporium herbarium* y en menor cantidad *Fusarium* y *Aspergillus flavus*. Es claro que existe un mayor potencial enzimático por parte de las cepas nativas que las cepas exóticas.

En esta investigación se logró aislar *Trichoderma reesei* este hongo demostró su gran potencial celulolítico, lo que coincide con lo mencionado por Gutiérrez *et al.*, (2013), los cuales afirman que este microorganismo es uno de los modelos productores de celulosas.

De igual forma, se aislaron otras especies con gran potencial celulolítico como *Aspergillus niger* y *Cladosporium herbarum*, lo que coincide con el estudio de Ramírez *et al.*, (2012) donde evaluó las celulasas producidas por estos microorganismos y demostró que *C. herbarum* presentó el nivel más alto de exoglucanasa y *A. niger* mostró una alta producción de endoglucanasas.

La degradación de la celulosa la puede realizar de forma independiente un solo hongo y también en asociación con otro, en este estudio se observó un consorcio microbiano formado por *Penicillium sp* y *A. niger*, los cuales al vivir en el mismo espacio compitiendo por los mismos nutrientes y ya que poseen una maquinaria enzimática que les permite degradar la celulosa, al unirse logran descomponer este elemento más rápido siendo más efectiva la degradación de la celulosa, la ventaja de este consorcio es ninguno inhibe el crecimiento del otro, permitiendo así una mayor actividad enzimática. De la misma forma, Gaitán y Pérez evaluaron la

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

actividad celulolítica de un consorcio formado por *Bacillus sp* y *Streptomyces sp*, donde se comprobó que las enzimas de estos microorganismos actuaron sinérgicamente en la degradación de la celulosa.

**RETORNO DE NUTRIENTES**

El retorno potencial de nutrientes permite la recirculación de compuestos en la naturaleza, es decir, la manera en la que microorganismos transforman compuestos complejos en sustancias más simples y fácil de asimilar por parte de otras especies; la siguiente tabla muestra el flujo de nutrientes estimado por año en las fracciones de la hojarasca.

**Tabla 11.**

*Retorno de nutrientes de la hojarasca en el manantial de Cañaverales – La Guajira.*

FLUJO DE NUTRIENTES POR AÑO ( $\pm$ DS) EN LAS FRACCIONES DE LA HOJARASCA											
Fracción	C	N	S	Ca	Mg	K	P	Cu	Fe	Mn	Zn
	Kg/ha/año										
<b>HSpN</b>	1271,26 $\pm$ 119,78	30,34 $\pm$ 2,70	2,32 $\pm$ 0,23	9,60 $\pm$ 0,61	2,97 $\pm$ 0,23	3,37 $\pm$ 0,43	0,83 $\pm$ 0,06	0,02 $\pm$ 0,00	0,19 $\pm$ 0,02	1,54 $\pm$ 0,13	0,08 $\pm$ 0,01
<b>HSpE</b>	1010,37 $\pm$ 37,46	25,61 $\pm$ 1,19	2,69 $\pm$ 0,11	20,58 $\pm$ 1,43	3,95 $\pm$ 0,18	3,30 $\pm$ 0,30	0,86 $\pm$ 0,04	0,03 $\pm$ 0,00	0,2 $\pm$ 0,02	1,58 $\pm$ 0,11	0,07 $\pm$ 0,00
<b>ML</b>	489,40 $\pm$ 28,55	9,67 $\pm$ 1,00	0,73 $\pm$ 0,05	9,67 $\pm$ 0,78	1,37 $\pm$ 0,08	1,03 $\pm$ 0,09	0,39 $\pm$ 0,02	0,02 $\pm$ 0,00	0,11 $\pm$ 0,01	0,81 $\pm$ 0,05	0,05 $\pm$ 0,00
<b>MNI</b>	515,09 $\pm$ 25,13	20,29 $\pm$ 1,29	1,61 $\pm$ 0,10	10,99 $\pm$ 0,86	1,78 $\pm$ 0,12	2,82 $\pm$ 0,31	0,55 $\pm$ 0,03	0,02 $\pm$ 0,00	0,21 $\pm$ 0,02	0,99 $\pm$ 0,07	0,07 $\pm$ 0,00
<b>TOTALES</b>											

HSpN: Hojas de Especies Nativas; HSpE: hojas de Especies Exóticas; ML: Material Leñoso; OM: Material No Identificado. Cálculo de concentración de nutrientes sobre una base de muestreo de seis semanas

Se obtuvo como resultado en la clasificación especificada en la (Tabla 8). Que las Hojas de Especies Nativas (HSpN) poseen cantidades de Nitrógeno (N)  $30,34 \pm 2,70$ , Carbono (C)  $1271,26 \pm 119,78$ , Potasio (K)  $3,37 \pm 0,43$  y Zinc (Zn)  $0,08 \pm 0,01$  en más cantidad que las especies exóticas. Y que las Hojas de Especies Exóticas (HSpE) contienen mayor cantidad de Azufre (S)  $2,69 \pm 0,11$ , Calcio (Ca)  $9,60 \pm 0,61$ , Magnesio (Mg)  $3,95 \pm 0,18$ , Fosforo (P)  $0,86 \pm 0,04$ , Cobre (Cu)  $0,03 \pm 0,00$ , Hierro (Fe)  $0,2 \pm 0,02$  y Manganeso (Mn)  $1,58 \pm 0,11$ . Además existen otras dos matrices de trabajos que es el Material Leñoso (ML) y Material No Identificado (MNI) también con contenidos de estos nutrientes, ML tiene una gran cantidad de Carbono  $489,40 \pm 28,55$ , Nitrógeno  $9,67 \pm 1,00$  y Calcio  $9,67 \pm 0,78$ ; y en menores cantidades Azufre  $0,73 \pm 0,05$ , Magnesio  $0,73 \pm 0,05$ , Potasio  $1,03 \pm 0,09$ , Fosforo  $0,39 \pm 0,02$ , Cobre  $0,02 \pm 0,00$ , Hierro  $0,11 \pm 0,01$ , Manganeso  $0,81 \pm 0,05$  y Zinc  $0,07 \pm 0,00$  y por último las cantidades del MNI Calcio  $515,09 \pm 25,13$ , Nitrógeno  $20,29 \pm 1,29$ , Azufre  $1,61 \pm 0,10$ , Calcio  $10,99 \pm 0,86$ , Magnesio  $1,78 \pm 0,12$ , Potasio  $2,82 \pm 0,31$ , Fosforo  $0,55 \pm 0,03$ , Cobre  $0,02 \pm 0,00$ , Hierro  $0,21 \pm 0,02$ , Manganeso  $0,99 \pm 0,07$  y Zinc  $0,07 \pm 0,00$  respectivamente.

## 7 CONCLUSIONES

Luego del desarrollo del presente estudio y la obtención de los resultados analizados, es importante resaltar la importancia de la hojarasca en la recirculación de nutrientes en el suelo. En ese sentido, para dar respuesta al objetivo general en cuanto a la determinación de las tasas de descomposición y retorno de nutrientes de la hojarasca generada por especies nativas y exóticas asociadas con las comunidades fúngicas durante eventos de lluvia y sequía. Por lo tanto, la materia orgánica en el suelo del manantial aumenta por la hojarasca; a través de su descomposición incrementando el contenido de carbono y nitrógeno.

Por su parte, el primer objetivo específico donde se planteó identificar los hongos celulolíticos presentes en el proceso de descomposición de la hojarasca aportada por las especies vegetales establecidas en el manantial de cañaverales durante eventos de lluvia y sequía, donde para tal efecto se encontraron especies de hongos celulíticos representativos los cuales pertenecen al género *Trichoderma*, la especie más representativa de este es *T. reesei*. Asimismo, otras especies importantes encontradas que poseen capacidad celulolítica tales como: *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp. entre otras.

Continuando, con el segundo objetivo específico para establecer los patrones temporales de riqueza, abundancia, biomasa y potencial enzimático de hongos celulolíticos en función de la degradación de la hojarasca aportada por las especies nativas y exóticas, donde se observó que las hojas de Especies Nativas (HSpN) poseen grandes cantidades de calcio (Ca)  $9,60 \pm 0,61$ , Nitrógeno (N)  $30,34 \pm 2,70$  y carbono (C)  $1271,26 \pm 119,78$  en más cantidad que las especies exóticas.

Finalizando, con el tercer objetivo específico para estimar las tasas de composición y retorno de nutrientes de la hojarasca generada por especies nativas y exóticas asociadas a las comunidades fúngicas durante eventos de lluvia y sequía, se reporta que *Trichoderma reesei*, *Aspergillus niger* y *Cladosporium herbarum*, fueron los hongos que demostraron mayor potencial enzimático, lo cual permite que la presencia de estos propicie un adecuado flujo de nutrientes al suelo dada su capacidad enzimática para transformar compuestos complejos para su fácil absorción a otras especies.

## **8 RECOMENDACIONES**

Se recomienda a la comunidad de investigadores del programa de ingeniería ambiental y sanitaria, continuar con estudios correspondientes al cuidado y preservación del manantial y espacios alternos que contribuyen a la regeneración del suelo favoreciendo a la agricultura y a los organismos vivos necesarios para la existencia de la flora y la fauna.

Que se establezcan políticas para programas de reforestación en donde no se utilicen plantas exóticas debido al impacto ambiental que eso acarrea.

Incentivar a otros investigadores a ampliar un poco mas la ruta de estudio enfocada en esta zona como la del manantial de cañaverales ya que hay poca información.

## 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argentina. Gob (s.f). *¿Qué son los humedales y porqué es importante conservarlos?*.  
<https://www.argentina.gob.ar/ambiente/contenidos/humedales>
- Aceñolaza, P.; Zamboni, L. y Gallardo, J. (2009). Aporte de hojarasca en bosques del predelta del río Paraná (Argentina). *Bosque (Valdivia)*, 30(3), 135-145.  
<https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002009000300003>
- Aguirre, E.; Ulloa, M.; Aguilar, S.; Cifuentes, J. y Valenzuela, R. (2014). Biodiversidad de hongos en México. *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 85, 76-81.  
<http://dx.doi.org/10.7550/rmb.33649>.
- Ashton, W.; Hyatt, A.; Howe, M.; Gurevitch, J. y Lerdau, M. (2013). Invasive species accelerated composition and litter nitrogen loss in a mixeddeciduousforest. *Ecological Applications*, 15: 1263-1272.
- Appa (2020). *¿Qué es la biomasa?* <https://www.appa.es/appa-biomasa/que-es-la-biomasa/>
- Baruch, z. y Goldstein, g. (1999). Leaf construction cost, nutrient concentration, and net co2 assimilation of native and invasive species in Hawaii. *oecologia*. Vol 121. Pag 183-192.  
[10.1007/s004420050920](https://doi.org/10.1007/s004420050920).
- Bembibre, C. (2012). *Definición de Plantación*.  
<https://www.definicionabc.com/economia/plantacion.php>
- Biodiversidad (2020). *Hongos*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/gfamilia/4/index/>

- Brinkley, D.; Sollins, P.; Bell, R.; Sachs, D. y Myrold, D. (1992). Biogeochemistry of Adjacent Conifer and Alder-Conifer Stands. *Ecology*. 73. 2022-2033. [10.2307/1941452](https://doi.org/10.2307/1941452).
- Bonilla, R.; Roncallo, B.; Jimeno, J. y García, T. (2008). Producción y descomposición de la hojarasca en bosques nativos y de *Leucaenaspp.*, en Codazzi, Cesar. *Corpoica Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 9(2), 5. [http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol9\\_num2\\_art:113](http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol9_num2_art:113).
- Bonomelli, C.; Peña, D. y Suárez, I. (2012). Contribución de las hojas en el proceso de reciclaje de N y P en *Eucalyptussp.* *Bosque* 23(1): 61-77.
- Borges, Y. (2017). Evaluación de los geos indicadores suelo y agua en el sector “La Granja”, Centeno, Moa. [Tesis en opción al título académico de Master en Geología]. *Ministerio de Educación Superior. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”.* *Faculta de Geología y Minera. Departamento de Geología*.
- Bradford, J.C. (2012). Molecular Phylogenetic and Morphological Evolution in Cunonieae (Cunonieae). *Ann. Missouri Bot. Gard.* 89: 491-503.
- Cabría, N.; Bianchini, M. y Mediavilla M. (2005). Óxidos de hierro libres asociados a carbono orgánico en agregados de suelos del partido de Balcarce. *Ciencia del suelo*. 23(1): 23 – 29 p.
- Campbell, N.; Urry, L. y Reece, J. (2007). *Biología. Madrid: Medica Panamericana.*
- Campo, J. (2003). Disponibilidad y flujos de nutrimentos en una topo secuencia con bosque tropical seco en México. *Agro ciencia*, 37() 211-219. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30237212>

- Carreño, L.; Caicedo, L. y Martínez, R. (2012). Técnicas de fermentación y aplicaciones de la celulosa bacteriana: una revisión. *Ingeniería y Ciencia*, 8() 307-335. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83524625012>
- Castellanos, J. y León, J. (2010). Caída de hojarasca y dinámica de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium (mimosaceae)* de Antioquia, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 15(2), 289-308. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-548X2010000200020&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2010000200020&lng=en&tlng=es).
- Castellanos, J.; León, J.; Guinge, J.; Osorio, L. y Marin, N. (2008). Descomposición de hojarasca y liberación de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* del bajo cauca antioqueño. *Fac. Nal. Agr. Medellín*, 61, 1-48.
- Castillo, D.; Viteri, P. y Viteri, S. (2015). Desarrollo Y Evaluación De Un Inóculo De Hongos Celulolíticos. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 217-226.
- Castro, L. y Forero, L. (2010). Identificación De Hongos Fito patógenos Asociados Al Roble (*Quercus Humboldtii Bonpl.*), En Los Municipios De Encino (Santander), Arcabuco, Y Tipa coqué (Boyacá). *Colombia Forestal*, 13(2), 347-356.
- Castro, P.; González, N. y Fernández, A. (2008). Los árboles exóticos invasores alteran la tasa de descomposición de la hojarasca. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 25: 99-104
- Castro, S.; Escobedo, J. y Carvallo, J. (2014). Evaluating Darwin's Naturalization Hypothesis in Experimental Plant Assemblages: Phylogenetic Relationships Do Not Determine Colonization Success. *PloSone*, 9(8), e105535.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Cepero, M.; Restrepo, S.; Franco, E.; Cárdenas, M.; Vargas, N. y Uniandes, E. (2012). *Biología de Hongos (1o)*. Book, Bogotá D.C.: Universidad de Los Andes. Departamento de Ciencias Facultad de Ciencias Biológicas.

Cornejo, A. (2015). Estructura De La Comunidad De Macro invertebrados Dulceacuícolas En El Área De Concesión Minera Cerro Petaquilla, Colón, Panamá. 10.13140/RG.2.1.3982.7369.

Cornwell, W.; Cornelissen, J.; Amatangelo, K.; Dorrepaal, E.; Eviner, V.; Godoy, O.; Hobbie, S. y Hoorens, B. (2008). Plant species traits are the predominant control on litter decomposition rates within biomes worldwide. *Ecology Letters*, vol. 11: pag 1065–1071. doi:10.1111/j.1461-0248.2008.01219.x

Decco (2018). *Propiedades y usos de un fertilizante foliar.*  
<https://www.deccoiberica.es/propiedades-usos-fertilizante-foliar/>

Corporación autónoma de la guajira. (2011). Estudio de la factibilidad para la declaración de un área natural protegida en el corregimiento de Cañaverales, San Juan del Cesar, La Guajira.

De Melo, V.; Araujo, A.; Chogi, M. y Duarte, I. (2018). Cellulolytic and lipolytic fungi isolated from soil and leaf litter samples from the Cerrado (Brazilian Savanna). *Revista de Biología Tropical*, 66(1), 237-245. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i1.27768>

Del Valle-Arango, J.I., (2003). "Cantidad, calidad y nutrientes reciclados por la hojarasca fina de bosques pantanosos del Pacífico Sur Colombiano". *Interciencia*, 28: 443-449.

Ecured (s.f). *Termófilo*. <https://www.ecured.cu/Term%C3%B3filo>

Ehrenfeld, J. (2013). Effect of Exotic Plant Invasion on Soil Nutrient Cycling Processes. *Ecosystems*. Vol. 6. pág. 503-523. 10.1007/s10021-002-0151-3.

Elosegui, A. y Sabater, S. (2009). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Primera Edición. España. Fundación BBVA. 2009. P 28. ISBN 978-84-96515-87-1.

Etter, A. (1993). Diversidad ecosistémica en Colombia hoy. En *Nuestra diversidad biótica*. CEREC y Fundación Alejandro Ángel Escobar. P. 43-61.

Eyes, M.; Rodríguez, J. y Gutiérrez, L. (2012). Descomposición de la hojarasca y su relación con los macro invertebrados acuáticos del río Gaira (Santa Marta – Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, vol. 17, núm. 1 2012, pp 77-91. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Bogotá, Colombia. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319028009006>

Fao.org (s.f). *Sistemas Agroforestales*. <https://www.fao.org/3/ah647s/AH647S04.htm>

Ferrer, Y.; León, M.; Michelena, G.; Dustet, J.; Duque, A.; Ibáñez, M. y Tortoló, K. (2011). Selección de hongos aislados de bagazo de caña con actividad celulasa sobre celulosa cristalina para posibles aplicaciones industriales. ICIDCA. *Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, enero-abril, 3-12.

Fenodato (2016). *¿Qué es la fenología?* <http://www.fenodato.net/fenologia/>

- Fuentes, N.; Rodríguez, J. y León, S. (2018). Caída y descomposición De Hojarasca En Los Bosques Ribereños Del Manantial De Cañaverales, Guajira, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 23(1), 115-123. <https://dx.doi.org/10.15446/abc.v23n1.62342>
- Fuentes, N. y Rodríguez, J. (2012). Eficiencia en el retorno potencial de nutrientes vía hojarasca de un bosque tropical de ribera. Sierra nevada de Santa Marta - Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 17() 51-66. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319028009004>
- Gaitán, D. y Pérez, L. (2012). Aislamientos y evaluación de Microorganismos celulolíticos a partir de residuos vegetales frescos y en compost generados en un cultivo de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*). Tesis pregrado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Bogotá-Colombia.
- Gallardo, A. (2009). Ciclos de nutrientes y procesos edáficos en los ecosistemas terrestres: especificidades del caso mediterráneo y sus implicaciones para las relaciones suelo-planta. *Ecosistemas* 18(2):4-19. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/60>
- García, L.; Ríos, A. y Molina, L. (2010). Estructura, composición vegetal y descomposición de hojarasca en el suelo, en dos sitios de un bosque nublado andino (reforestado y en sucesión espontánea), en peñas blancas, Calarcá (Quindío), Colombia. *Actualidades Biológicas*, 32(93), 147-164. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0304-](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-)

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Gaspar, E.; González, M.; Ramírez, N. y Álvarez, J. (2015). Acumulación y descomposición de hojarasca en bosques secundarios del sur de la Sierra Madre de Chiapas, México. *Bosque (Valdivia)*, 36(3), 467-480. <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002015000300013>

Gélvez, I. (2008). Efecto del uso del suelo sobre la descomposición de hojarasca y grupos funcionales microbianos (cuenca del Río La Vieja, Quindío). Proyecto de grado para optar al título de Microbióloga Industrial, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, 66p.

González, H.; Ramírez, R.; Cantú, I.; Gómez, M.; Cotera, M.; Carrillo, A. y Marroquín, J. (2017). Producción de hojarasca y retorno de nutrientes vía foliar en un matorral desértico micrófilo en el noreste de México.

Gutiérrez, I.; Moreno, N. y Montoya, D. (2014). Mecanismos y regulación de la hidrólisis enzimática de celulosa en hongos filamentosos: casos clásicos y nuevos modelos. *Revista Iberoamericana de Micología*. 32. 10.1016/j.riam.2013.10.009.

Guzmán, Á.; Monserrate, P.; Rondón, A.; Laurencio, M.; Pérez, M.; León, R. y Rivera, R. (2014). Aislamiento, selección y caracterización de hongos celulolíticos a partir de muestras de suelo en Manabí-Ecuador. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 46(2), 177-189  
[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1853-86652014000200013&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652014000200013&lng=es&tlng=es)

Herrera, J. y Rosas, J. (2003). Estudio preliminar de la producción de enzimas lignolíticas por los hongos *Phanerochaetechrysosporium*, *Trametesversicolor* y *Pleorotusostreatus* para el

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

tratamiento de efluentes de la industria papelera. Tesis pregrado. Facultad de Ciencias.  
Pontificia Universidad Javeriana.

IDEAM. (2011). Registros medios mensuales multianuales de precipitación. Estación Salento.  
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá D.C., Colombia.

Instituto Alexander Von Humboldt (IAVH). (1998). El Bosque Seco Tropical (bs-T) en  
Colombia. IAVH, Villa de Leyva, Colombia.  
<http://media.utp.edu.co/ciebreg/archivos/bosque-seco-tropical/el-bosque-seco-tropical-en-colombia.pdf>.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1980). Estudio general de suelos de la región del Darién.  
Bogotá: IGAC; 1980, 654p.

Julca, A.; Meneses, L.; Blas, R. y Bello, S. (2006). La Materia Orgánica, Importancia Y  
Experiencia De Su Uso En La Agricultura. Idesia (Arica), 24(1), 49-61.  
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>

Kolar, C. y Lodge, D. (2001). Progress in invasion biology: predicting invaders: Trends in  
Ecology & Evolution [Trends Ecol. Evol.]. Vol. 16, no. 4, pp. 199-204. Apr 2001. DOI:  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02101-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02101-2).

López, J.; González, H.; Ramírez, R.; Del Valle, J. y Cantú, S. (2015). Producción de hojarasca y  
depósito potencial de nutrientes de las hojas en el Matorral Espinoso Tamaulipeco.  
Revista mexicana de ciencias forestales, 6(30), 74-89.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

- López, M.; Álvarez, P.; González, E. y García, M. (2015). Medidas del comportamiento ecológico y antecedentes: conceptualización y validación empírica de escalas. *Universitas Psychologica*, 14(1), 189-204. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.upsy14-1.mcea>.
- López, J.; González, H.; Ramírez, R.; Cantú, I.; Gómez, M.; Pando, M. y Estrada, A. (2013). Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica*, (35), 41-64.
- Mack, R.; Lonsdale, W.; Evans, H. y Clout, G. (2000). Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecol. Appl.*, 10:689-710.
- Málaga, Z. y Cabrera, R. (2017). Aislamiento e identificación de bacterias celulolíticas termófilos de géiseres naturales de Candarave-Tacna. *Ciencia & Desarrollo*, (18).
- Martínez, L. y Pugnaire, F. (2009). Interacciones entre las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares y de plantas. Algunos ejemplos en los ecosistemas semiáridos. *Ecosistemas*, 18 (2), 44-54.
- Martínez, J. (2013). Producción y descomposición de hojarasca en sistemas silvopastoriles de estratos múltiples y su efecto sobre propiedades bioorgánicas del suelo en el valle medio del Río Sinú [Tesis]. *Universidad nacional de Colombia*. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/20938/64557713.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Medina, S. (2016). Impactos ecológicos de los árboles exóticos invasores en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas fluviales y de ribera. *Ecosistemas*, 25(3), 116-120. <http://dx.doi.org/10.7818/ecos.2016.25-3.14>.
- Meli, P.; Ruiz, L.; Aguilar, R.; Rabasa, A. y Carabias, J. (2017). Bosques ribereños del trópico húmedo de México: un caso de estudio y aspectos críticos para una restauración exitosa. *Madera y bosques*, 23(1), 181-193. <https://dx.doi.org/10.21829/myb.2017.2311118>.
- Mendoza, A.; Regner, P.; Turirón, M.; Pando, V. y Aceñolaza, P. (2017). Pérdida de peso durante la descomposición de hojas de *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch en plantaciones de diferentes edades. *Revista de Ciencias Forestales - Quebracho*. Vol. 25(1,2) – diciembre 2017. ISSN 0328 – 0543.
- Monroy, L. y Lizarazo, L. (2010). Identificación De Hongos Fito patógenos Asociados Al Roble (*Quercus Humboldtii* Bonpl.), En Los Municipios De Encino (Santander), Arcabuco, Y Tipacoque (Boyacá). *Colombia Forestal*, 13(2), 347. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2010.2.a10>.
- Montagnini, F. (2000). Ciclaje de nutrientes en plantaciones con especies puras y mixtas en región de bosque húmedo tropical, San José, Costa Rica.
- Mora, J. (2006). La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo. Universidad de caldas

- Munguía, R. (2012). Tasas de descomposición de la hojarasca en un sistema agroforestal con café en el Pacífico de Nicaragua. *La Calera*, 7 (8). pp. 10-14. ISSN 1998-7846. <http://repositorio.una.edu.ni/2283/>.
- Ortiz, M. y Uribe, D. (2010). Determinación de la actividad lignocelulolítica en sustrato natural de aislamientos fúngicos obtenidos de sabana de pastoreo y de bosque secundario de sabana inundable tropical. *Ciencia del suelo*, 28(2), 169-180.
- Ortiz, M. (2010). Evaluación preliminar de la abundancia de hongos lignolíticos cultivables y su actividad peroxidasa, obtenidos a partir de suelos con diferentes usos agrícolas en zona rural de Villavicencio. *Orinoquia*, [S.l.], v. 14, n. 2 sup, p. 171-177, sep. 2010. ISSN 2011-2629. <http://orinoquia.unillanos.edu.co/index.php/orinoquia/article/view/104/541doi>: <http://dx.doi.org/10.22579/20112629.104>.
- Ott, L. (1993). *Anintroduction to statistical methods and data analysis*. Duxbury Press Boston, MA, USA. 775 p.
- Petersen, R. y Cummins, K. (1974). Leaf processing in a woodland stream\*. *Freshwater Biology*, 4(4), pp.343-368.
- Pezzutti, R.; Schenone, R.; Chrapek, C. y Borba, R. (2014). Aspectos productivos y ecológicos en plantaciones de Pinus y Eucalyotus. Instituto de Investigación en Agronomía. Escuela de Agronomía (Del. Virasoro). El Salvador. 2014.
- Porto, J. (2018). *Definición de hojarasca*. <https://definicion.de/hojarasca/>

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Porto, J. y Gardey, A. (2020). *Definición de edáfico*. <https://definicion.de/edafico/>

Porto, J. (2014). *Definición de retorno*. <https://definicion.de/retorno/>

Ramírez, L.; Bran, J. y Uribe, M. (2012). Evaluación in vitro de celulasas producidas por cepas nativas de *Trichoderma reesei*, *Cladosporium herbarum* y *Aspergillus niger*. *Journal of Agriculture and Animal Sciences*, 1(1).

Ramos, E.; Zúñiga, D. (2008). Efecto De La Humedad, Temperatura Y PH Del Suelo En La Actividad Microbiana A Nivel De Laboratorio *Ecología Aplicada*, vol. 7, núm. 1-2, enero-diciembre, 2008, pp. 123-130 Universidad Nacional Agraria La Molina Lima, Perú.

RAE (2021). *Celulósico*. <https://dle.rae.es/celul%C3%B3sico>

Romero, S. (2014). Aportes de biomasa y reciclaje de nutrientes en seis sistemas forestales de café con tres niveles de manejo. *Magister scientiae*. Turrialba, Costa Rica. 2006.

Romero, S. (2006). Aporte de biomasa y reciclaje de nutrientes en seis sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* var. Caturra), con tres niveles de manejo (Tesis de Maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica, 2006. <https://www.catie.ac.cr/attachments/article/551/Tesis-MSc-SRomero-2006.pdf>.

Sabater, S. y Elosegi, A. (2014). Balancing Conservation Needs with Uses of River Ecosystems. *Acta Biológica Colombiana*, 19(1), 3-10. <https://dx.doi.org/10.15446/abc.v19n1.38045>

Sánchez, S.; Crespo, G.; Hernández, M. y García, Y. (2008). Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* y en un sistema silvopastoril asociado con *Leucaenaleucocephala*. *Zootecnia Tropical*, 26(3), 269-273. [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S079872692008000300024&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S079872692008000300024&lng=es&tlng=es).

Santa, I. y Gallardo, J. (1989). Ciclos biogeoquímicos en bosque de la sierra de Bejar. Provincia de Salamanca. *Optionsmediterraneenes*. Seminares n°3.

Schessl, J.; Zou, Y.; Mcgrath, M.; Cowling, B. y Chin, S. (2008). Proteomic identification of FHL1 as the protein mutated in human reducing body myopathy. *J Clin Invest*. 2008;118:904-912. Doi: 10.1172/JCI34450.

Schlatter, J.; Grez, V. y Gerding, R. (2003). Manual para el reconocimiento de suelos. Valdivia, Chile, Universidad Austral de Chile. 114 p.

Seoáñez, M. (2000). Tratado de reciclado y recuperación de los productos de los residuos. Ediciones Multiprensa. Madrid, España. 170 – 171 p.

Significados.com (2022). *Orgánico*. <https://www.significados.com/orgnico/>

Tamara, C. (2015). *Nutrientes... ¿Qué son?, ¿Dónde están?, ¿Para qué sirven?*. <https://www.grupogamma.com/nutrientes-que-son-donde-estan-para-que-sirven/>

Tecco, P.; Díaz, S.; Cabido, M. y Urcelay, C. (2010). Functional traits of alien plants across contrasting climatic and land-use regimes: do aliens join the locals or try harder than them? *J. Ecol.*, 98:17-27.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

Ucha, F. (2009). Definición de Fluvial. <https://www.definicionabc.com/geografia/fluvial.php>

Valenzuela, E.; Leiva, S. y Godoy, R. (2001). Variación estacional y potencial enzimática de micro hongos asociados con la descomposición de hojarasca de *Nothofagus pumilio*. Revista chilena de historia natural, 74(4), 737-749. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2001000400001>

Valle, J. (2003). Cantidad, calidad y nutrientes reciclados por la hojarasca fina en bosques pantanosos del pacífico sur colombiano. Interciencia, 28() 443-449. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33908303>.

Yakabi, K. (2014). Estudio de las propiedades edáficas que determinan la fertilidad del suelo en el sistema de andenería de la comunidad campesina, San Pedro de Laraos, provincia de Huarochirí, Lima. Tesis de grado. Universidad Católica del Perú, Departamento Geografía y Medio ambiental.

Plan de Manejo Ambiental del Manantial de Cañaverales, corregimiento de Cañaverales – Municipio de San Juan del Cesar, Departamento de La Guajira. <https://corpoguajira.gov.co/wp/wp-content/uploads/2021/04/Plan-de-manejo-RFP-Manantial-de-Ca%C3%B1averales.pdf>.

Manantial de cañaverales, nueva reserva forestal protectora de la guajira. <https://corpoguajira.gov.co/wp/manantial-de-canaverales-nueva-reserva-forestal-protectora-de-la-guajira/>.