

POLÍMEROS COMO MEJORADORES DE SUELOS EROSIONADOS

**NATALIA MONTOYA CALLE
KELLY ALEXANDRA PIZANO MEJÍA**

**DIRECTORA
INES ELVIRA OSORIO GIRALDO**



**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICO DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL
MEDELLÍN
2016**

DEDICATORIA

A nuestros padres por apoyarnos incondicionalmente y depositar su confianza en nosotras. A Matias y Fernando por su inmenso amor y acompañamiento.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por permitirnos culminar una etapa mas en nuestras vidas.

A nuestros padres: Rosa Calle, Albeiro Montoya, Nora Mejía y Chennier Pizano por ser nuestro apoyo moral y económico a lo largo de nuestra profesión, por no dejarnos desfallecer en las situaciones adversas. Los amamos demasiado.

A nuestros hermanos por ese apoyo incondicional en todo momento y por la confianza depositada en nosotras.

A Fernando Herrera por ese apoyo y acompañamiento incondicional en todo momento. A Matias Herrera, un pilar fundamental en mi vida.

A nuestra asesora Inés Elvira Osorio Giraldo, por su acompañamiento, apoyo y dedicación en la construcción de este trabajo, muchas gracias.

A nuestros amigos y compañeros de estudio, en especial a Yenifer Castaño y Laura Quintana por compartir todo este tiempo, momentos que no se olvidarán.

Al Tecnológico de Antioquia, Institución Universitaria por la formación profesional.

TABLA DE CONTENIDO

PALABRAS CLAVE	6
INTRODUCCIÓN	7
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
2. JUSTIFICACIÓN	11
3. OBJETIVOS.....	13
3.1 Objetivo general.....	13
3.2 Objetivos específicos	13
4. MARCO REFERENCIAL.....	14
4.1 Estado de la degradación y desertificación del suelo a nivel mundial	15
4.1.1. África del Sur.....	18
4.1.2. África del Norte	19
4.1.3. Asia.....	20
4.1.4. Europa.....	21
4.1.5. América del Norte	22
4.1.6. Centro y Sur América	23
4.2 Estado de la degradación y desertificación del suelo en Colombia.....	24
4.3 Polímeros como mejoradores de la estructura del suelo	37
4.3.1 Polímero.....	39
4.3.2 Clasificación de los polímeros.....	40
4.3.3 Tipos de polímeros.....	41
5. DESARROLLO METODOLÓGICO	54
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
6.1 Información obtenida mediante revisión bibliográfica.....	56
6.2 Información recopilada en campo.....	67
6.3 Análisis de la información recopilada	82
7. CONCLUSIONES	85
8. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	87
9. RECONOCIMIENTOS	89
REFERENCIAS.....	90

RESUMEN

El suelo está conformado por minerales, microorganismos, materia orgánica, éste se forma por factores como el agua, la temperatura y el viento.

La degradación y erosión del suelo se puede dar por causas naturales, pero actualmente las actividades desarrolladas por el hombre son las principales causantes de la pérdida de éste recurso. Es importante dar un uso apropiado de éste recurso para evitar su degradación, y de ésta manera poder conservar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del mismo.

Es vital realizar actividades enfocadas en la rehabilitación de las zonas afectadas, hoy en día existen muchos métodos para la recuperación de suelos, pero éste debe ser escogido dependiendo del estado del suelo, del uso que se le quiere dar y de los costos de las técnicas a utilizar.

Una opción en la recuperación de suelos es el uso de polímeros, los cuales debido a sus propiedades han sido implementados desde hace algunos años permitiendo mejorar la fertilidad y estructura del suelo.

La metodología empleada para llevar a cabo esta investigación consistió en la búsqueda en bases de datos y recopilación de información en campo sobre estudios y proyectos acerca del uso de polímeros para mejorar la estructura de suelos erosionados.

Según la literatura y la información recopilada en campo se obtuvo como resultado que los materiales que más se utilizan y con los que se pueden obtener mejores resultados en cuanto al mejoramiento de suelos erosionados son los Polímeros Súper Absorbentes (SAPs), los PAM, la celulosa y el almidón.

Con este trabajo se pretende realizar el estado del arte del uso de polímeros en algunos países del mundo y en Colombia, mostrando sus aplicaciones y ventajas al ser utilizado como una estrategia de rehabilitación de suelos erosionados.

PALABRAS CLAVE

Suelo, erosión, polímeros, degradación del suelo, rehabilitación del suelo, restauración del suelo.

INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo es una de las principales problemáticas ambientales a nivel mundial, la degradación de los ecosistemas afectados involucra indirectamente un impacto económico y social, mientras que los efectos que presenta en el recurso suelo se asocian a la pérdida de productividad como resultado de un proceso de alteraciones de las propiedades químicas, físicas y biológicas propias de cada suelo (Como se cita en Brunel *et al*; 2011, p. 1).

La erosión es ocasionada por diversos procesos, principalmente agentes hídricos y eólicos, que se manifiesta en la reducción de la capa superficial del suelo, cambios en sus características y la alteración de su capacidad para soportar el desarrollo de la planta. Dentro de los factores de degradación de suelos, la erosión hídrica es la más amenazante para la productividad de suelos agrícolas a nivel mundial (Como se cita en Brunel *et al*; 2011, p. 1). Sin embargo, las diferentes actividades que son desarrolladas por el hombre, son las principales causantes de la degradación, debido a que se modifican características físicas, químicas y microbiológicas del mismo.

El empleo de polímeros para el acondicionamiento de suelos ha sido estudiado en diversas investigaciones (Rudnik *et al.*, 2011; Souza *et al.*, 2014; Tomei *et al.*, 2013; Gutiérrez *et al.*, 2008) mostrando que su utilización en el suelo presenta ventajas tales como: mejora de la estructura del suelo, mejor aireación y drenaje, mayor rendimiento de cosechas y disminución de consumo de fertilizantes. Algunos otros polímeros han sido desarrollados para permitir la liberación controlada de fertilizantes aumentando la eficiencia de la sustancia aplicada alargando su acción en el tiempo y evitando pérdidas por lixiviación.

Los polímeros naturales son todos aquellos que provienen de seres vivos como por ejemplo el almidón y la celulosa, en la naturaleza se pueden encontrar una gran diversidad de ellos, están generalmente más asociados al término de

biodegradabilidad; los polímeros sintéticos biodegradables son nuevas alternativas basadas en polímeros naturales, los cuales se han desarrollado en los últimos años manteniendo las propiedades y la funcionalidad de los polímeros convencionales; están en pleno desarrollo para intentar paliar problemáticas en el área de la salud, medicina, agricultura y medio ambiente.

Los polímeros sintéticos en la agricultura tienen múltiples aplicaciones, la utilización de polímeros con capacidad hidro-retenedora, se ha convertido en una alternativa para una agricultura sostenible, porque aumenta la capacidad de retención de agua en el suelo, favoreciendo por lo tanto el desarrollo de las plantas.

La investigación tiene como objetivo identificar polímeros con potencial para ser utilizados en el manejo de suelos erosionados. Por tal motivo se realizará la revisión de la literatura y la recopilación de la información en campo, que permita realizar un análisis basado en la información recolectada, donde se den a conocer cuáles son los materiales poliméricos con mejores características para el mejoramiento de suelos erosionados.

En el presente trabajo se pretende dar a conocer las principales ventajas y usos de diferentes materiales poliméricos, ya que es una alternativa viable en la recuperación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos que presentan algún tipo de degradación, permitiendo una mayor capacidad de retención de agua y una mejor absorción de nutrientes por parte de las plantas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El suelo tarda millones de años para formarse, pero puede tardarse poco tiempo para degradarse si no se le da un uso adecuado, perdiendo sus características físicas, químicas y microbiológicas. Se debe garantizar la actividad biológica en el suelo, la disponibilidad de nutrientes, y mejorar día a día la estructura de éste, para así evitar su degradación y desertificación.

Se calcula que, al actual ritmo de degradación de suelos, la superficie cultivable del planeta pasará de los 1.500 millones de hectáreas que se poseían en 1975 a 1.000 millones en el año 2025, es decir que la pérdida de suelos afectará posiblemente a una tercera parte de la superficie arable de la tierra (UNAL, 2015).

La erosión es un proceso natural por el cual las corrientes de agua o el viento arrastran parte del suelo de unos puntos a otros. La erosión es un problema cuando se acelera, con lo cual los materiales perdidos no se recuperan en las zonas erosionadas y en las zonas que reciben los aportes no son aprovechados o se pierden, o cuando por causas ajenas al propio medio aparece en puntos que no deberían de erosionarse (Como se cita en Otero et al., 2010).

Las prácticas de recuperación de suelos son todos aquellos métodos utilizados para evitar la pérdida de este recurso, y recuperar aquel que se encuentra erosionado, hay muchos métodos que se utilizan para llevar a cabo esta recuperación, pero éste se debe escoger dependiendo del estado del suelo, del uso que se le quiere dar, y de los costos de las técnicas a utilizar.

Actualmente existen diferentes materiales que son utilizados para el control de la erosión del suelo, como por ejemplo los geosintéticos, los textiles orgánicos, los geomoldes y los polímeros.

A pesar que en algunas investigaciones se mencionan las potencialidades de los polímeros en el mejoramiento de las propiedades del suelo, aún no hay información suficiente donde se evidencie esta situación.

Por tal motivo se hace necesario realizar la búsqueda de información, por medio de la revisión bibliográfica en diferentes bases de datos, y recopilación de la misma en campo, donde se pueda responder a la siguiente pregunta ¿Son los polímeros una alternativa que puede ser utilizada en el mejoramiento de suelos erosionados?

2. JUSTIFICACIÓN

La vida sobre la tierra depende de las funciones de los suelos productivos de alimentos y reguladoras del ciclo hidrológico y de la calidad ambiental. Los suelos son al mismo tiempo la base de la producción agrícola y la base para la manutención de los ecosistemas. Por ello las consecuencias de la degradación acelerada de suelos son de similar trascendencia que las de calentamiento global y pérdida de biodiversidad, estando los tres procesos íntimamente relacionados (Pla Sentis, 2015).

El crecimiento acelerado de la población y la industrialización son factores que han provocado mayores influencias del hombre sobre el suelo, debido a esto se ha realizado una explotación de los recursos naturales de una manera no sostenible, haciendo que se intensifiquen las actividades agrícolas, ganaderas y mineras, las cuales traen como consecuencia la degradación del suelo debido a su inadecuada utilización.

El suelo es un recurso de vital importancia, por lo que es primordial elaborar estrategias que permitan mejorar las características fisicoquímicas y microbiológicas de aquellos suelos que se encuentren erosionados.

Se han llevado a cabo investigaciones donde se han utilizado polímeros para solucionar problemas relacionados con el suelo (fertilidad, rendimiento agrícola, disponibilidad de agua, entre otros). Sin embargo la poca información que hay actualmente en el país acerca de la implementación de polímeros en la rehabilitación de suelos erosionados motiva el desarrollo del presente trabajo, con este se busca dar a conocer diferentes materiales poliméricos que pueden ser aptos para el mejoramiento de suelos erosionados. La información recopilada puede ser de gran utilidad para llevar a cabo otras investigaciones a nivel nacional,

donde éstos se puedan implementar en suelos que presenten algún grado de erosión.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Identificar polímeros con potencial para ser utilizados como acondicionadores de suelos erosionados.

3.2 Objetivos específicos

Seleccionar por medio de la literatura polímeros que han sido utilizados en el manejo de suelos erosionados.

Recopilar información en campo relacionada con diferentes polímeros que han sido utilizados en la rehabilitación de suelos erosionados.

Realizar un análisis basado en la información recopilada donde se den a conocer cuáles son los polímeros con mejores características para el mejoramiento de suelos erosionados.

4. MARCO REFERENCIAL

El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Éste puede definirse, según la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (1984) como el material mineral no consolidado en la superficie de la tierra que ha estado sometido a la influencia de factores genéticos y ambientales: material parental, clima, macro y microorganismos y topografía, todos actuando durante un lapso de tiempo (Como se cita en Jaramillo, 2011).

El suelo es un recurso natural que necesita de un largo periodo de tiempo para su formación, lo que hace que se le considere como un recurso natural no renovable (Figuroa, 2004).

Cuando un suelo alcanza un alto grado de evolución, está en equilibrio con sus factores ambientales y tiende a adquirir, generalmente, unas condiciones adecuadas para una buena producción biológica. Si este equilibrio se rompe, la evolución natural se modifica y se desarrollan una serie de procesos que tienden a la disminución de la calidad de suelo y por consiguiente, a su degradación. La degradación de este recurso afecta extensas áreas del planeta y suelos que actualmente no están degradados se encuentran amenazados de serlo en el futuro cercano (Figuroa, 2004).

La desertificación y la degradación de los suelos son cada vez más graves debido al calentamiento global y los fenómenos climáticos extremos concurrentes. La erosión del suelo se acelera por la reducción de la cohesión de éste y la retención de agua debido a la transferencia de las partículas finas del suelo. Por lo tanto, la cohesión interna del suelo debe ser recuperada para asegurar intentos contra la desertificación que sean eficaces y fiables (Ilhan et al., 2015).

El fenómeno de la degradación se manifiesta en la pérdida de la cubierta vegetal o en el descenso de la productividad agrícola asociado con cambios importantes en las características físicas, químicas y biológicas del suelo, lo que incrementa su vulnerabilidad ante los agentes erosivos (Figueroa, 2004).

4.1 Estado de la degradación y desertificación del suelo a nivel mundial

El acelerado aumento de la población mundial demanda cada vez más alimentos y agua, lo cual implica que haya una mayor influencia del hombre sobre el suelo, a través de la intensificación de actividades agrícolas y la expansión, así como por el crecimiento del número de áreas pobladas y sus infraestructuras (Pla Sentis, 2015).

La superficie de la tierra la han transformado las diversas actividades humanas, en especial la agricultura. A la par de ésta, la preferencia mundial hacia la urbanización, derivada del desarrollo de la población y del incremento de la emigración de las zonas rurales hacia las ciudades ha llevado a que las áreas de tierras agrícolas, en especial en países desarrollados, sean transformadas en áreas urbanas. Al aumentar los desarrollos agrícolas en nuevas zonas con diferentes climas y topografía hace que se dé un descenso en las limitadas reservas de tierras arables del planeta (Pla Sentis, 2015).

Esto aparte de ocasionar la degradación del suelo, también produce una disminución de la cantidad de agua que es utilizada para cubrir necesidades agrícolas, urbanas e industriales, y además se causa un descenso en la diversidad biológica. En el mundo estas problemáticas pueden tener impactos negativos en países en vía de desarrollo, las cuales se pueden evidenciar en la disminución de la producción de alimentos, incremento de la pobreza y emigración de la población (Pla Sentis, 2015).

Los procesos de degradación del suelo aumentan los riesgos de sequía y de desastres naturales como por ejemplo inundaciones, deslizamientos de tierra, sedimentaciones, entre otras. Los cambios climáticos globales son atribuidos a la creciente degradación de los suelos y a los cambios generados en la cobertura de éste recurso. El aumento de la degradación de los suelos y sus consecuencias también está muy relacionado con el desconocimiento que tiene la sociedad y las instituciones cuanto a la planificación del uso y manejo adecuado que se le debe dar a este recurso (Pla Sentis, 2015).

Se considera que actualmente hay unas 3600 millones de ha (25% de las tierras a nivel mundial) afectadas por diferentes niveles de degradación de suelos, incluyendo 30% de las tierras bajo riego, 47% de las tierras con agricultura de secado, y 73% de tierras de pastoreo. Anualmente pierden parte de su productividad por degradación de suelos 1.5-2.5 millones de ha de tierras bajo riego, 3.5-4.0 millones de ha de tierras agrícolas de secado y 35 millones de tierras de pastoreo, afectando directamente a unas 2600 millones de personas (40% de la población mundial). En los últimos 50 años se estima que 2/3 de las tierras agrícolas del mundo han sido afectadas por degradación de suelos. Unas 305 millones de ha (2.3% del total de tierras y 21% de las tierras agrícolas) han perdido completamente su capacidad productiva y de control ambiental (Pla Sentis, 2015).

Cerca de 1/3 (500 millones de ha) de las tierras cultivadas en el mundo (1500 millones de ha) han sido abandonadas en los últimos 40 años, principalmente por problemas de degradación de suelos, en especial erosión hídrica, que las han hecho improductivas. Su recuperación puede demorar cientos o miles de años. La solución para reemplazar dichas tierras degradadas ha sido generalmente convertir a tierras agrícolas áreas con pastos o bosques. Se considera que más de un 60% de la deforestación a nivel mundial se ha debido a la necesidad de incorporar nuevas tierras a la agricultura. Aún con estos nuevos desarrollos agrícolas, el área de tierra cultivada por habitante en el mundo ha bajado a 0.24 ha. Se considera que el mínimo para alimentar una persona, con niveles de

productividad altos, que requieren altos insumos de fertilizantes, pesticidas, mecanización etc, es de 0.20 ha, que sería lo disponible (sino se pierden más tierras por degradación) con una población de 8000 millones de habitantes. Esta creciente escasez de tierras agrícolas, con creciente población y productividad decreciente, es el factor determinante de escasez de alimentos, desnutrición, inestabilidad económica y política, que afectan a gran parte de los países en desarrollo. Por todo ello, la degradación y pérdida de suelos y tierras arables se ha convertido en uno de los problemas más críticos de la humanidad actualmente (Pla Sentis, 2015).

En la tabla 1, se presenta información correspondiente a las Ha de tierra degradadas en el mundo por diferentes causas.

Tabla 1. Extensión de tierras degradadas en el mundo por diferentes causas

CAUSA	Ha x 10 ⁶					
	África	Asia	Oceanía	Europa	Norte América	Sur América
Deforestación	19	116	4	39	4	32
Sobrepastoreo	185	119	79	41	28	26
Agricultura	62	97	5	18	41	12
Sobre explotación	54	42	2	2	6	9
Bio- industrial	0	1	0	1	0	0

*Sobre explotación de la vegetación para combustible, madera, etc.; * Degradación biológica por contaminación industrial con residuos tóxicos, lluvia ácida, etc.

Nota. Fuente: Pla Sentis, Ildefonso. 2015. Problemas de degradación de suelos en el mundo: Causas y consecuencias. Recuperado de: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/1.-Problemas-de-Degradacion.pdf>

En la tabla 2, se hace referencia al tipo de uso del suelo, su extensión en área y su degradación por diferentes procesos de degradación.

Tabla 2. Tierras degradadas por diferentes procesos con diferentes tipos de uso de la tierra en el mundo.

Tipo de uso de la tierra	Área (ha x 10 ⁶)		Proceso de degradación	Área (ha x10 ⁶)
	Total	Anual		
Tierras con riego	45	0.15	Erosión hídrica	480
Cultivos de secano	220	2.50	Erosión eólica	510
Pastos	760	3.20	Degradación química*	110
			Degradación física ⁺	35

Salinización, contaminación, acidificación...; *Compactación, sellado, encostrado...

Nota. Fuente: Ildelfonso Pla Sentis. 2015. Problemas de degradación de suelos en el mundo: Causas y consecuencias. Recuperado de: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/1.-Problemas-de-Degradacion.pdf>

4.1.1. África del Sur

Se ha estimado que de las aproximadamente 494 millones de ha de tierra de África del Sur afectadas por la degradación del suelo, el 46 por ciento es afectado por la erosión hídrica, el 38 por ciento por la erosión eólica, el 12 por ciento por la degradación química y 4 por ciento por la degradación física. Los cuatro tipos del cambio de suelo considerados como las mayores amenazas son: erosión del suelo, agotamiento de la materia orgánica del suelo, agotamiento de nutrientes del suelo y pérdida de la biodiversidad del suelo (FAO, 2015).

La erosión del suelo constituye más del 80% de la degradación de la tierra en la región de África del Sur, afectando alrededor de 22% de las tierras agrícolas y todos los países en la región. La mayoría de las causas están relacionadas con la exposición de la superficie del suelo descubierta debido a cultivo, deforestación, sobrepastoreo y sequía (FAO, 2015).

El desequilibrio de nutrientes, que generalmente se manifiesta en la deficiencia de nutrientes esenciales claves, es principalmente debido al hecho de que la fertilización no ha sido específica para el suelo y el cultivo, los agricultores no

pueden pagar el precio de los fertilizantes y la inhabilidad de seguir las dosis recomendadas. Casi todos los países en la región muestran un balance negativo de nutrientes. La contaminación del suelo por productos químicos (fertilizantes, productos derivados del petróleo, pesticidas, herbicidas, minería) ha afectado negativamente la productividad agrícola y otros servicios ecosistémicos. Nigeria y Sudáfrica son los más afectados (FAO, 2015).

4.1.2. África del Norte

La degradación de los recursos naturales en tierras arables es considerada como una de las principales amenazas para la producción agrícola en todos los países de la región. La capacidad y calidad de los servicios ecosistémicos son reducidas considerablemente por la degradación causada por la salinidad, erosión, contaminación y factores de gestión que conducen a la pérdida de materia orgánica del suelo (FAO, 2015).

La erosión hídrica es predominante en aquellas partes de la región donde hay terrenos en pendiente y la agricultura de secano es practicada, la cual puede ocurrir en áreas de pendiente suave (FAO, 2015).

La erosión eólica es también un factor causante de la pérdida de la capa superior del suelo. Densas y frecuentes tormentas de arena se llevan la capa superior del suelo (capa vegetal o capa arable), enterrando suelos fértiles y llenando los canales de riego (FAO, 2015).

La compactación es un problema donde los suelos arcillosos densos son intensamente labrados (por ejemplo, Vertisoles con regadío y secano) y en menor medida es causada por los vehículos todo-terreno (FAO, 2015).

El incremento de la población ha resultado en la alteración del suelo debido a las actividades humanas sin control, como la minería y canteras a cielo abierto, que han desencadenado y acelerado procesos erosivos (FAO, 2015).

Las respuestas para revertir la degradación causada por la erosión incluyen la mejora de la resiliencia del suelo a través del incremento de los insumos de C usando estiércol orgánico, compost, acondicionadores sintéticos del suelo y medidas de conservación de suelos en terrenos con pendiente (FAO, 2015).

4.1.3. Asia

Existe un área sustancial de suelos ácidos distribuidos en regiones tropicales y subtropicales de Asia, principalmente en el Sudeste de Asia, partes del Este y Sur de Asia. Esto es principalmente causado por el desequilibrio y la aplicación inadecuada de fertilizantes químicos. La distribución de los suelos ácidos sulfatados en Asia tropical también limita la producción de cultivos (FAO, 2015).

La erosión del suelo es la principal amenaza para el suelo en la región asiática. La severa erosión hídrica ocurre en aquellas áreas del Sur y Este de Asia que tienen épocas secas y húmedas pronunciadas, particularmente en paisajes de colinas y de montaña (FAO, 2015).

Sin embargo, la erosión del suelo es una preocupación menor en bosques establecidos y arrozales. La erosión eólica está concentrada principalmente en regiones en el extremo occidental y en regiones áridas y semi-áridas del norte (FAO, 2015).

La mecanización de la gestión de la tierra ha incrementado la compactación del suelo superficial y/o subsuelo en tierras de cultivos, pastizales y forestales. El incremento del pisoteo del ganado es también una causa mayor de la

compactación de la superficie del suelo en pastizales y regiones de colinas, además la información disponible sobre la biodiversidad de suelos en Asia es limitada. Algunos informes muestran alta biodiversidad microbiana en suelos de tierras de cultivo orgánico (FAO, 2015).

4.1.4. Europa

La erosión del suelo es cada vez mayor. Cerca de 115 millones de hectáreas están afectadas por la erosión hídrica y 42 millones de hectáreas sufren erosión eólica. El problema es destacado en la región mediterránea a causa de sus frágiles condiciones medioambientales, si bien los problemas existen en la mayoría de los países europeos. La erosión edáfica se intensifica con el abandono de la tierra de laboreo y con los incendios forestales, en particular en zonas marginales. En muchas áreas faltan estrategias, como la forestación, para combatir la erosión acelerada del suelo ((EEA), European Environment Agency, 2016).

En Europa se está perdiendo suelo y se está degradando a consecuencia de las crecientes demandas, a menudo en conflicto, de prácticamente todos los sectores económicos, como la agricultura, la vivienda, la industria, el transporte y el turismo. Las presiones se deben a la concentración de poblaciones y actividades en espacios limitados, así como a los cambios del clima y de los usos del suelo. En Europa meridional, especialmente en la cuenca mediterránea, la erosión del suelo por la acción del agua y el viento, la salinización y la degradación de la fauna y la flora edáficas por culpa de los incendios son acusadas, mientras que en Europa occidental, central y oriental, la contaminación del suelo afecta a grandes zonas y se debe a la urbanización y a la industrialización ((EEA), European Environment Agency, 2016).

Los problemas más importantes del suelo son los siguientes: pérdidas irreversibles debido a la creciente impermeabilización y a la erosión; problemas de estabilidad

en las laderas; continua contaminación local y difusa, y acidificación. En algunas zonas de Europa meridional y centrorienta, la degradación es tan grave que ha provocado la reducción de la capacidad del suelo para sustentar comunidades humanas y ecosistemas, acelerando la desertificación. No se conoce con exactitud el grado real de la degradación de los suelos debido a las limitaciones de los datos, especialmente en Europa central y oriental ((EEA), European Environment Agency, 2002).

4.1.5. América del Norte

El excesivo uso de fertilizantes en muchas regiones causa degradación significativa de la calidad del agua superficial y un incremento de las emisiones de óxido nítrico a la atmósfera. La contaminación del agua superficial está fuertemente ligada a la gran tasa de erosión, y ocurre en las regiones norte y medio-oeste de E.E.U.U., Cuenca del río Mississippi, y regiones agrícolas de Canadá central (FAO, 2015).

El grado de pérdida de la biodiversidad del suelo debido al impacto humano es en gran parte desconocida en América del Norte. Los efectos del creciente uso de químicos en la agricultura, especialmente pesticidas, sobre la biodiversidad es una importante preocupación pública (FAO, 2015).

La compactación continúa siendo un problema de menor preocupación, especialmente en regiones con contraste en la textura de suelos (Luvisol, Alfisol, Ultisol). El impacto de la compactación a escala regional sobre el crecimiento de las plantas es en gran parte desconocido (FAO, 2015).

Tanto la erosión eólica como la hídrica han disminuido significativamente en América del Norte. El impulsor más grande para esta disminución es la reducción

de labranza en muchos sistemas de cultivo junto con una importante disminución en el barbecho de verano en las Grandes Llanuras de Canadá (FAO, 2015).

Las tasas de erosión permanecen estables, sin embargo están por encima de lo que se cree son niveles tolerables en la ecoregión de las Praderas Templadas de los Estados Unidos y en toda la ecoregión de las Llanuras de Bosque Mixtas de Canadá y los Estados Unidos (FAO, 2015).

4.1.6. Centro y Sur América

Alrededor de tres cuartas partes de las tierras áridas, semiáridas y tropicales secas de América Latina han sufrido de una u otra forma procesos de desertificación. Se estima que en América del Sur la superficie afectada alcanza a los 250 millones de hectáreas y en Centroamérica, a 63 millones de hectáreas. La erosión del suelo es la causa principal de la desertificación en la región: el 68% de la superficie total de América del Sur se ve afectada por la erosión, proporción que en Centroamérica se eleva al 88% de las tierras. Se estima que solo en América del Sur más de 100 millones de hectáreas de tierras fueron degradadas por la deforestación y 70 millones debido al sobrepastoreo (Morales et al., 2005).

En Argentina y Paraguay, más de la mitad del territorio se encuentra afectado por problemas vinculados a la degradación y desertificación. En Brasil, en la región del nordeste, donde vive una parte significativa de su población, también el territorio padece de problemas similares. A su vez, en Bolivia, Chile, Ecuador y Perú, se estima que entre un 27% y un 43% del territorio sufre problemas de desertificación, lo que afecta a una parte muy importante de su población. El caso más grave es el de Bolivia, donde seis millones de personas, vale decir, el 77% de la población del país, viven en áreas afectadas. En Uruguay, se estima que más del 80% de la superficie agrícola del país sufre diversos grados de erosión, mientras que en Colombia esta proporción asciende al 48% de su territorio (Morales et al., 2005).

4.2 Estado de la degradación y desertificación del suelo en Colombia

El suelo de acuerdo a sus características formativas y de manejo, puede clasificarse con base a estándares establecidos por sistemas taxonómicos internacionales como los propuestos por la FAO o la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) mediante la Soil Survey Staff (1999). En este tipo de clasificación se utilizan órdenes, subórdenes, grandes grupos, subgrupos y familias, siendo esta última la más precisa. Sin embargo, la clasificación por ordenes es ya bastante detallada, ya que entre ordenes de suelos se encuentran diferencias marcadas (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016).

Descripción de los órdenes del suelo:

Entisol: Los Entisoles son suelos derivados de fragmentos de roca suelta, que están formados típicamente por arrastre y depósito de materiales sedimentarios que son transportados por la acción del agua. Son suelos jóvenes y sin horizontes genéticos naturales (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016).

Inceptisol: Los inceptisoles son suelos con características poco definidas al igual que sus horizontes. En zonas de clima frío, se presenta acumulación de materiales orgánicos en la superficie debido a condiciones de baja degradación. Presentan un pH ácido, malas condiciones de drenaje y pueden contener minerales de arcilla amorfa como la alófana. Estos suelos ocupan gran parte de las laderas de Colombia, teniendo un desarrollo a partir de rocas recientemente expuestas (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016).

Histosol: Los histosoles son suelos orgánicos que presentan un horizonte O bastante profundo, gracias a la acumulación de tejidos de plantas que no han sufrido procesos de descomposición por condiciones de baja temperatura y alta humedad. Estos suelos se encuentran saturados de agua al menos una vez por año, y se pueden encontrar en el territorio colombiano en zonas de páramo corriendo el riesgo de uso para fines agrícolas por su uso como sustrato orgánico. De estos suelos depende en gran medida la regulación hídrica de los páramos y el abastecimiento de agua en nuestro país (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016).

Andisol: Los andisoles son suelos derivados de cenizas volcánicas. Presentan excelentes propiedades físicas, sobre todo de drenaje, así como buena fertilidad gracias a la acumulación superficial de materia orgánica humificada y a la presencia de la arcilla alófana. Estos suelos se encuentran en la zona andina, sobre todo hacia los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda, así como hacia la zona suroccidental del país en los departamentos del Cauca, Nariño y Putumayo. Son los responsables de la producción cafetera en nuestro país y por esto su gran importancia (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016).

Los suelos volcánicos en sus primeros estados de desarrollo son bastante susceptibles a la erosión hídrica, y si a esto se agregan las fuerzas pendientes en que ocurren propias de una fisiografía de montaña, y el uso intensivo a que son sometidos, se corre el riesgo de erosionarlos muy rápidamente (Como se cita en UNAD, 2016).

Alfisol: Los alfisoles son suelos típicos de zonas con cambios estacionales entre (húmedo a semiárido), con déficit de humedad de más de cinco meses al año. Poseen buen contenido de cationes intercambiables, pero alta susceptibilidad a los procesos de degradación. Presentan un horizonte superficial de color claro con bajo contenido de materia orgánica. Se encuentran en la Región del Caribe, especialmente en los departamentos de Magdalena y Bolívar y en los valles

Interandinos del Magdalena y del Cauca (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016) Tienden a sufrir procesos erosivos y de salinización (UNAD, Universidad Nacional a Distancia, 2016).

Molisol: Los molisoles son suelos de color oscuro, con altos contenidos de materia orgánica. Son los suelos más fértiles ya que se encuentran en zonas cálidas de valles, con altos contenidos de arcillas y buena cantidad de cationes que forman bases y sales nutritivas para las plantas. Presentan texturas pesadas debido a condiciones de mecanización continua lo que los hace susceptibles a procesos de compactación. Son suelos muy productivos en el Valle del Cauca y la zona Caribe como la región del bajo Sinú (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016). Sin embargo, también presentan fuertes limitaciones de uso relacionadas sus propiedades vérticas, horizontes endurecidos, deterioro estructural, alta susceptibilidad a la erosión, salinización, pérdida de la estructura y formación de micro relieve gilgai (UNAD, Universidad Nacional a Distancia, 2016).

Vertisol: Los vertisoles son suelos fértiles gracias a su alto contenido de arcillas. Sin embargo, debido a la presencia de arcillas expandibles de tipo 2:1 como la montmorillonita y la vermiculita, presentan condiciones de agrietamiento en verano y de alta plasticidad en invierno, ocasionando inundaciones por su baja infiltración. Representan suelos muy inestables para la construcción de obras civiles. En los Vertisoles el principal cultivo es el arroz bajo inundación, o arroz de secano durante la estación lluviosa (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016).

Oxisol: Los oxisoles son suelos ricos en sesquióxidos de hierro y aluminio con predominio de arcillas de tipo 1:1. Son suelos meteorizados y de baja fertilidad. Presentan un pH ácido y baja retención de humedad, lo que puede limitar el crecimiento de las plantas por estrés. Se encuentran en la región de la Orinoquía, los Llanos orientales y la Amazonía, y acorde a las diferentes condiciones

ambientales requieren manejos diferentes (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016).

Ultisol: Los ultisoles son suelos más jóvenes que los oxisoles, sin embargo presentan características similares como la alta intemperización, colores rojizos y pardos por presencia de sesquióxidos de hierro y aluminio. Presentan un horizonte de acumulación de arcillas y bajo contenidos de bases minerales, lo que los hace poco fértiles para la agricultura (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016).

Gelisol: Los gelisoles son suelos que presentan condiciones de congelamiento durante periodos largos de tiempo, presentando o no hielo en superficie. Son los suelos característicos de los polos y de zonas muy altas glaciares (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016).

Espodosol: Los espodosoles son suelos que presentan un horizonte oscuro de acumulación de materia orgánica y alto contenido de aluminio, con o sin hierro, que se ubica por debajo de un horizonte más claro que ha aportado aquellos elementos metálicos. Presentan un pH ácido y baja fertilidad (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016).

Aridisol: Los aridisoles son suelos presentes en zonas muy secas y áridas, con muy bajas precipitaciones y alta evapotranspiración. Por esta condición, los aridisoles presentan altos contenidos de sales de calcio y magnesio, como también carbonatos y bicarbonatos de sodio. En Colombia están presentes en la parte alta de la región caribe, en el departamento de la Guajira, donde las precipitaciones están por debajo de los 500 mm anuales (Como se cita en UNAD, 2016).

En Colombia se presenta una amplia variedad de suelos, debido a la gran cantidad de variantes que se presenten en los factores de formación de ellos, que al combinarse producen esa abundante gama edáfica. El territorio colombiano se

puede dividir en 9 regiones naturales delimitadas, obedeciendo a ciertas particularidades biofísicas que ellas tienen (Jaramillo D. , 2011).

Amazonía

Predominan los Oxisoles seguidos por Inceptisoles distróficos, Ultisoles y Entisoles, también de carácter distrófico. Este contenido pedológico da una idea de la baja fertilidad que tienen los suelos de la amazonía colombiana, a pesar de sostener, en buena parte de su área, una vegetación exuberante (Jaramillo D. , 2011).

Región Andina

La mayoría de los suelos de la región andina tienen un grado moderado a bajo de evolución, correspondiendo a los órdenes Inceptisol y Entisol. Además predominan los suelos con baja saturación de bases. Solamente en aquellos climas más secos se presentan suelos de los órdenes Alfisol y Mollisol (Como se cita en Jaramillo, 2011).

Orinoquía

En esta región se destaca el amplio dominio de los suelos de los órdenes Oxisol e Inceptisol. En esta región natural se encuentran los suelos más evolucionados del país (Como se cita en Jaramillo, 2011). En esta región todos los suelos son ácidos y presentan bajos contenidos de materia orgánica, teniendo baja calidad nutricional para las plantas (Jaramillo D. , 2011).

Llanura del Caribe

Los suelos predominantes en esta región tienen un nivel bajo a moderado de evolución, ubicándose en los órdenes Inceptisol y Entisol. También son comunes los suelos de los órdenes Alfisol, Mollisol y Vertisol. Debido a que en esta zona predominan las condiciones de clima seco los suelos presentan con alta saturación de bases y pH cercano a la neutralidad o ligeramente alcalino (Jaramillo D. , 2011).

Andén Pacífico

Predominan en esta región los suelos poco evolucionados de los órdenes Inceptisol y Entisol. Presentan bajos contenidos de materia orgánica y todos tienen pH muy ácido, también son de baja calidad para las labores agropecuarias (Jaramillo D. , 2011).

Alto y Medio Magdalena

En esta región los suelos se agrupan principalmente en los órdenes Inceptisol y Entisol, aunque hay áreas importantes de Alfisoles y Mollisoles en el alto Magdalena y de Alfisoles y Ultisoles en el Magdalena medio. Los cambios de humedad controlan fuertemente el tipo de suelo que se genera en esta zona (Jaramillo D. , 2011).

Alta y Media Guajira

En esta región predominan ampliamente los suelos del orden Aridisol, con bastantes grandes grupos de suelos calcáreos y sódicos, acompañados frecuentemente por suelos del orden Entisol. Las características secas de esta región limitan el lavado de bases y de sales del suelo, favoreciendo su acumulación. Además, dichas condiciones tampoco permiten una evolución importante en el suelo que garantice un medio físico adecuado para el desarrollo de las plantas, lo que hace que el suelo de esta zona se pueda considerar de muy baja calidad (Jaramillo D. , 2011).

Valle del Río Cauca

En esta región predominan los suelos con pH en el rango neutro, con contenido medio de materia orgánica. Aunque se presentan áreas importantes de suelos afectados por sales y sodio, los suelos de esta región son, en su mayoría, de alta calidad para las actividades agropecuarias. Predominan ampliamente los suelos del orden Mollisol (Como se cita en Jaramillo, 2011).

Islas del Caribe

En las islas del Caribe colombiano predominan los suelos del orden Inceptisol, compartiendo áreas importantes con suelos de orden Entisol, también Vertisoles y Mollisoles. El pH de los suelos está entre ligeramente ácido y neutro y el contenido de materia orgánica es bajo. El nivel de fertilidad es alto (Como se cita en Jaramillo, 2011).

En la siguiente tabla se presentan a grandes rasgos las limitantes que tienen las diferentes regiones naturales de Colombia para que el suelo sea utilizado intensivamente en actividades agropecuarias.

Tabla 3. Limitantes que tienen las diferentes regiones naturales de Colombia.

Región o Subregión	Principales limitantes
Amazonía	Clima húmedo, baja fertilidad, alta susceptibilidad a la erosión, arcillas LAC
Andina	Pendientes fuertes, baja fertilidad, alta susceptibilidad a la erosión, propiedades ándicas, erosión actual moderada a severa
Orinoquía	Clima húmedo, baja fertilidad, alta susceptibilidad a la erosión, arcillas LAC, mal drenaje, erosión actual severa
Caribe	Clima seco, salinidad, alta susceptibilidad a la erosión, propiedades vérticas, horizontes endurecidos, erosión actual moderada a severa
Andén Pacífico	Clima muy húmedo, baja fertilidad, alta susceptibilidad a la erosión, arcillas LAC, mal drenaje
Alto Magdalena	Clima seco, salinidad, alta susceptibilidad a la erosión, propiedades vérticas, horizontes endurecidos, erosión actual severa
Magdalena Medio	Clima húmedo, baja fertilidad, alta susceptibilidad a la erosión, arcillas LAC, mal drenaje

Alta y Media Guajira	Clima muy seco, salinidad, alta susceptibilidad a la erosión, horizontes endurecidos, erosión actual muy severa
Valle del Cauca Sur	Clima húmedo, baja fertilidad, alta susceptibilidad a la erosión, arcillas LAC, mal drenaje
Valle del Cauca Centro-Norte	Clima seco, salinidad, alta susceptibilidad a la erosión, propiedades vérticas, horizontes endurecidos, erosión actual severa
Islas del Caribe	Clima seco, salinidad, alta susceptibilidad a la erosión, horizontes endurecidos, erosión actual moderada a severa

Nota. Fuente: Jaramillo, Daniel.2011. Los suelos de Colombia. En D. Jaramillo, EL SUELO: Origen, Propiedades, Espacialidad (págs. 527-541). Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

El orden de los suelos que más abunda en el país es el Inceptisol, seguido por el Entisol y la mayor parte de los suelos de Colombia son de baja fertilidad, ácidos, susceptibles a la erosión, con bajo contenido de materia orgánica y con coloides

inorgánicos de baja actividad. Solo en el Valle del río Cauca, la región Caribe, algunos sectores de la Media Guajira y del altiplano Cundiboyacense, y el Alto Magdalena, se presentan suelos químicamente fértiles, pero con limitaciones físicas y climáticas para su uso agropecuario (Jaramillo D. , 2011).

Colombia, país que debido a la variada geografía y a su posición intertropical, presenta gran diversidad de ecosistemas y por lo tanto una diversidad biológica en su mayoría endémica que habita estos ecosistemas, no es ajena a la problemática mundial de la degradación de tierras y desertificación (IDEAM, 2005).

Los ecosistemas de zonas secas han sido los más afectados por procesos degradativos. La alta vulnerabilidad que estos ecosistemas presentan debido a sus condiciones climáticas estacionalmente secas y a la velocidad de deterioro causada por la explotación inadecuada de sus recursos naturales, arroja resultados que se pueden ver en áreas como el Cañón de Chicamocha, la región del Patía, Villa de Leyva, el desierto de la Tatacoa, el desierto Guajiro, entre otros (IDEAM, 2005).

Los principales procesos que intervienen en la degradación de suelos y tierras en Colombia son la erosión, la salinización y la desertificación. La erosión es quizá el más importante debido a su magnitud en el territorio nacional. Existen otros procesos de degradación como la compactación, la disminución de la fertilidad, la sedimentación y la contaminación, éstos avanzan, sin que se disponga de información de su dinámica en el país (Roldán et al., 1996). Se calcula que, para el 2025 la pérdida de suelos afectará posiblemente a una tercera parte de la superficie arable de la tierra (UNAL, 2015).

La erosión es el conjunto de procesos en la superficie de la corteza terrestre que producen pérdida física del suelo en grado variable. Ocurre naturalmente cuando se manifiestan las fuerzas de la gravedad en zonas montañosas o cuando el suelo queda expuesto a la acción del agua o del viento. No obstante, el hombre es el

agente causal de mayor importancia en la erosión de suelos puesto que, a través de sus actividades, incide directamente en las coberturas vegetales, cambia la dinámica hídrica o modifica drásticamente las condiciones de manejo del recurso suelo, bien sea por prácticas agronómicas o construcción de infraestructura (Como se cita en Otero et al., 2010).

Algunos de los tipos de erosión se mencionan a continuación:

Erosión por el viento, El movimiento del viento ejerce fuerzas de fricción y levantamiento sobre las partículas de suelo, desprendiéndolas transportándolas y depositándolas (Suárez, 2001).

Erosión por gotas de lluvia, Cuando las gotas de agua impactan el suelo desnudo pueden soltar y mover las partículas a distancias realmente sorprendentes (Suárez, 2001).

Erosión laminar, Las corrientes superficiales de agua pueden producir el desprendimiento de las capas más superficiales de suelo en un sistema de erosión por capas que se profundizan (Suárez, 2001).

Erosión en surcos, La concentración del flujo en pequeños canales o rugosidades hace que se profundicen estos pequeños canales formando una serie de surcos generalmente semi-paralelos (Suárez, 2001).

La degradación de suelos por erosión, mantiene una estrecha relación con la deforestación y el uso del territorio, de igual manera con el aumento de las amenazas naturales (deslizamientos, crecientes súbitas, sedimentación, inundaciones). El 40% del territorio continental presenta algún grado de degradación de suelos por erosión equivalente a 453.770 Km² (Institutos de Investigación SINA, 2015).

Alrededor del 80% de la Región Andina de Colombia está afectada por erosión. Uno de los mayores causantes de este fenómeno es el uso del suelo para actividades agropecuarias con tecnologías inadecuadas y eventualmente sin tener en cuenta su aptitud de uso (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005).

Actualmente el proceso de degradación de suelos por erosión en esta Región avanza a ritmo de unas 2.000 hectáreas por año. A pesar de tratarse de un proceso físico, tiene grandes repercusiones económicas y sociales, ya que afecta la productividad y la disponibilidad de alimentos, la oferta de la calidad y cantidad de agua y la posibilidad de futuro de las familias involucradas (Proyecto Checua Cultivar sin Arar. 2000).

Los departamentos más afectados en el país por la magnitud de erosión, es decir por la suma de áreas de erosión ligera, moderada, severa y muy severa respecto al área del departamento son Cesar, Caldas, Córdoba, Cundinamarca, Santander, La Guajira, Atlántico, Magdalena, Sucre, Tolima, Quindío, Huila y Boyacá (Institutos de Investigación SINA, 2015).

Los departamentos más afectados por severidad de la erosión, es decir por la suma de las áreas con erosión severa y muy severa en relación con el área del departamento son: La Guajira, Magdalena, Cesar, Huila, Sucre, Santander, Tolima, Boyacá, Atlántico, Norte de Santander y Valle del Cauca. (Institutos de Investigación SINA, 2015).

En la tabla 4 se menciona el porcentaje de área que ocupa cada una de las actividades productivas que se llevan a cabo en el país.

Tabla 4. Actividades económicas principales en ecosistemas de zonas del país

Sistema Productivo	Porcentaje del total del área para cada uso
Pastoreo seminómada; extracción de especies para usos artesanales y ecoturismo.	99.2
Extracción de materiales para construcción y artesanía; turismo y ganadería extensiva	87.9
Residencial, comercial, industrial e institucional	69.5
Agricultura intensiva con especies anuales como arroz, algodón, sorgo, maíz, frijol, papa	66.3
Ganadería semintensiva e intensiva	64.8
Ganadería muy extensiva	65.2
Extracción selectiva de productos como leña, fibras y frutos; usos silvopastoriles y tierras en descanso	59.3
Plantaciones de palma africana	55.8
Ganadería extensivo y semintensivo	50.6
Agricultura tradicional con especies como frijol, maíz, yuca y otros, en mezcla con otras coberturas	38.3
Plantaciones de banano y plátano para exportación principalmente	35.5

Nota. Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT, (2005). Plan de acción nacional lucha contra la desertificación y la sequía en Colombia Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Zonas-Secas/5596_250510_plan_lucha_desertificacion.pdf.

En la siguiente tabla, se puede observar el grado de degradación por erosión en las diferentes zonas del país, con su respectivo porcentaje y extensión que ésta ocupa.

Grado	Magdalena-Cauca		Caribe		Orinoco		Pacífico		Amazonas		Total	
	Área miles km ²	%	Por grado	%								
No hay	16	5.8	25	24.1	10	2.8	46	59.6	12	3.6	109.1	9.6
Ligera	50	18.4	17	16.2	101	29.1	11	13.9	252	73.6	429.9	37.7
Moderada	58	21.7	13	12.5	165	47.6	6	7.8	70	20.6	313.1	27.5
Severa	98	36.4	24	23.4	70	20.2	13	17.1	7	2.1	212.8	18.7
Muy severa	48	17.7	25	23.9	1	0.3	1	1.5	0.3	0.1	75.1	6.6
Total HA	269		105		347		77		342		1140	

Tabla 5. Zonificación de degradación por erosión nacional: Selección de Áreas

Nota. Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT. (2012). Programa de monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos y tierras. Recuperado de: http://www.ideam.gov.co/documents/11769/153422/20121210_Socializacion_avance_erosion.pdf/110fe407-5b10-42a5-913a-43400ed9ae6d (IDEAM;MAVDT, 2012)

En la tabla 6 se encuentran los departamentos de Colombia con el porcentaje de los niveles de desertificación y su área.

Tabla 6. Departamentos con procesos de desertificación y niveles de afectación

Departamento	Área Depto.	Área "Con" Desertificación en Km ²	%"Con" Desertificación	% de los Niveles de Gravedad de la Desertificación			
				%Bajo	% Moderado	% Alto	% Muy Alto

ANTIOQUIA	63.307	3.470	5.5	2.0	2.0	1.4	0.1
ATLÁNTICO	3.324	3.101	93.3	12.6	7.9	28.9	43.9
BOGOTÁ, D.C	1.642	166	10.1	3.3	1.5	5.3	0.0
BOLÍVAR	26.644	11.175	41.9	19.3	7.8	9.9	5.0
BOYACA	23.076	4.379	19.0	5.4	3.2	8.1	2.3
CALDAS	7.444	379	5.1	2.9	1.0	1.1	0.0
CASANARE	44.435	136	0.3	0.0	0.2	0.1	0.0
CAUCA	29.883	2.155	7.2	0.8	0.9	4.4	1.1
CÉSAR	22.614	15.612	69.0	15.3	15.3	18.1	20.4
CÓRDOBA	25.061	14.002	55.9	4.9	12.1	16.3	22.5
C/MARCA	22.490	6.071	27.0	8.5	9.8	7.2	1.5
CHOCÓ	47.321	24	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
GUAINÍA	70.679	149	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0
GUAVIARE	55.080	817	1.5	0.3	0.0	1.2	0.0
HUILA	19.240	5.722	29.7	6.9	3.7	13.7	5.4
LA GUAJIRA	20.506	17.943	87.5	6.4	11.1	16.2	53.7
MAGDALENA	23.076	17.160	74.4	19.4	23.5	9.4	22.0
META	86.047	33.296	38.7	2.5	17.6	18.6	0.0
NARIÑO	30.832	2.162	7.0	1.4	0.9	4.0	0.8
N. S/TANDER	21.995	2.612	11.9	4.6	3.1	2.5	1.7
QUINDIO	1.948	28	1.4	0.4	1.0	0.1	0.0
RISARALDA	3.599	57	1.6	0.1	0.0	1.5	0.0
SANTANDER	30.475	3.262	10.7	2.7	2.6	5.1	0.3
SUCRE	10.719	6.615	61.7	10.4	1.9	11.8	37.7
TOLIMA	24.061	7.696	32.0	8.5	6.4	7.5	9.5
VALLE CAUCA	21.277	5.011	23.5	8.2	1.5	9.1	4.8
VICHADA	99.874	29.899	29.9	1.8	9.6	18.6	0.0
TOTAL		193.510	16.95%	3.0	4.4	6.1	3.5

Nota. Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT. (2003). Elementos de diagnóstico y recomendaciones de acción para ser incluidos en el PAN de Colombia - Fase I. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Zonas-Secas/5596_250510_plan_lucha_desertificacion.pdf.

4.3 Polímeros como mejoradores de la estructura del suelo

Es bien conocido desde hace muchos años que los aglomerados del suelo deben su estabilidad, en parte, a la presencia de materiales poliméricos naturales que se

unen al suelo. El primer polímero sintético creado para mejorar la estructura del suelo y aumentar el crecimiento de los cultivos fue introducido en 1951. Los resultados de incorporar polímeros al suelo fueron espectaculares, pero las dosis requeridas hicieron su uso antieconómico (Ciba, 2016).

A mediados de los 80 los polímeros estabilizadores de suelo fueron utilizados por primera vez en sistemas de riego. Inicialmente, los polímeros se usaron para evitar la erosión e incrementar la infiltración de agua en riego por surcos. Más recientemente, Ciba ha introducido una gama de productos designados para su uso en otro tipo de sistemas de riego, particularmente riegos por superficie como pivots. En 1999 Ciba introdujo un producto para su uso específico en hidrosiembra (Ciba, 2016).

Para reparar las zonas degradadas es necesario implementar tratamientos o prácticas que permitan aumentar la actividad microbiana y por ende recuperar su estructura y nutrientes.

Las respuestas para revertir la degradación causada por la erosión incluyen la mejora de la resiliencia del suelo a través del incremento de los insumos de Carbono usando estiércol orgánico, compost, acondicionadores sintéticos del suelo y medidas de conservación de suelos (FAO, 2015).

Las prácticas de recuperación de suelos son todos aquellos métodos utilizados para evitar la pérdida del suelo y recuperar aquel que se encuentra degradado, hay muchos métodos que se usan para llevar a cabo esta recuperación, como la aplicación de enmiendas orgánicas o inorgánicas, que tienen un efecto las propiedades del suelo; formando agregados y dando estabilidad estructural, favoreciendo la infiltración del agua y su retención, disminuyendo la erosión, y aumentando los procesos de mineralización y el desarrollo de la cubierta vegetal.

Actualmente hay prácticas, materiales, tratamientos y soluciones que buscan controlar la erosión, existe una posible alternativa para recuperar suelos degradados, utilizar acondicionadores del suelo como lo son los polímeros biodegradables. Los biopolímeros en el suelo tienen el potencial positivo para reducir significativamente la erosionabilidad de éste mediante la mejora de la cohesión entre las partículas (Ilhan et al., 2015).

Éstos han sido implementados recientemente para la reducción de la escorrentía y pérdida de suelo por erosión, incrementando la formación de agregados estables, los cuales mejoraran la aireación, potencian la infiltración y la permeabilidad del suelo, lo cual va a permitir recuperar la cobertura vegetal de éste.

4.3.1 Polímero

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión repetida de una o varias moléculas unidas por enlaces covalentes. Dependiendo de su origen, los polímeros pueden ser naturales o sintéticos. Los sintéticos contienen normalmente entre uno y tres tipos diferentes de unidades que se repiten, mientras que los naturales o biopolímeros como la celulosa, el ADN o las proteínas presentan estructuras mucho más complejas. Los polímeros sintéticos tienen, hoy por hoy, mayor interés desde el punto de vista comercial porque ofrecen mayores ventajas sobre los materiales naturales y los compuestos porque pueden ser diseñados según las propiedades requeridas. Además estos pueden ser estimados teóricamente (Beltrán et al., 2016).

Los polímeros de fuentes renovables que pueden ser útiles para fabricar materiales biodegradables suelen tener como principal componente el almidón y mezclas de polímeros hechos de éste último con otros polímeros degradables (Enríquez et al., 2012).

Materiales compuestos de almidón, alcohol polivinílico, polilactatos y polihidroxibutirato son ejemplos de polímeros biodegradables que ofrecen una solución atractiva para el medio ambiente y para el problema de la eliminación de residuos de plástico (Calil et al., 2006).

Los polímeros naturales, tal como almidón y celulosa, son buenos materiales de base para la producción a un bajo costo, éstos son rápidamente degradables debido a que son fácilmente digeridos por los microorganismos (Calil et al., 2006).

Los polímeros biodegradables naturales se producen en la naturaleza por diferentes organismos. Las reacciones de biodegradación son normalmente catalizadas por enzimas y pueden ocurrir en medios acuosos. Macromoléculas naturales que contienen vínculos hidrolizables, tales como proteínas, celulosa y almidón son generalmente susceptibles a la biodegradación por las enzimas hidrolíticas de microorganismos (Asther, 2016).

Celulosa, lignina, almidón, quitina, colágeno, gelatina, ácido hialurónico, dextrano, heparina, xantano, elastina, fibrina, pectina, y polihidroxialcanoatos son polímeros biodegradables obtenidos a partir de plantas o animales. Los polímeros biodegradables se clasifican principalmente bajo dos principales grupos: El primero de ellos son los agropolímeros los cuales de origen natural como por ejemplo: los polisacáridos, las proteínas, los lípidos, los poliésteres producidos por microorganismos o por plantas, y los poliésteres sintetizados a partir de monómeros. El segundo grupo corresponde a los biopoliésteres son polímeros de origen mineral como por ejemplo: los poliésteres alifáticos, poliésteres aromáticos y alcoholes de polivinilo (Asther, 2016).

4.3.2 Clasificación de los polímeros

Los polímeros se pueden clasificar según diversos criterios:

Según su origen:

- Naturales: Caucho, polisacáridos (celulosa, almidón), proteínas, ácidos nucleicos.
- Artificiales: Plásticos, fibras textiles sintéticas, poliuretano, baquelita.

Su composición:

- Homopolímeros: Un sólo monómero.
- Heteropolímeros: Varios monómeros. Si son dos se llaman copolímeros.

Según su estructura:

- Lineales: Los monómeros se unen por dos sitios (cabeza y cola)
- Ramificados: Si algún monómero se puede unir por tres o más sitios.

Por su comportamiento ante el calor:

- Termoplásticos: Se reblandecen al calentar y recuperan sus propiedades al enfriar. Se moldean en caliente de forma repetida.
- Termoestables: Se reblandecen y moldean en caliente, pero quedan rígidos al ser enfriados por formar nuevos enlaces y no pueden volver a ser moldeados.

4.3.3 Tipos de polímeros

Biopolímeros extraídos directamente de la biomasa

Biopolímeros basados en almidón: el almidón está formado por una mezcla de dos polímeros, amilosa y amilopectina. Los almidones más comunes contienen alrededor del 25% de amilosa y 75% de amilopectina. Las mezclas de almidón con poliésteres alifáticos mejoran su procesabilidad y biodegradabilidad, para ello, los

poliésteres más adecuados son policaprolactona (PCL) y poliésteres alifático-aromáticos. (Valero et al., 2013).

El almidón es un componente de varios productos agrícolas como tubérculos, legumbres, cereales y algunas frutas, el almidón es uno de los biomateriales utilizados con más frecuencia en muchas industrias porque es biodegradable, es de fácil obtención, tiene un bajo costo y es de baja rigidez (Wiacek, 2015).

Al mezclar con otros polímeros, las propiedades del almidón termoplástico se pueden mejorar de forma espectacular. Algunos de los polímeros utilizados con almidón termoplástico incluyen: celulosa, caucho natural, el alcohol polivinílico (PVA), copolímeros de acrilato, los poliésteres, ácido poliláctico, y el poli (ϵ -caprolactona) (Asther, 2016).

Polímeros basados en celulosa: se producen mediante modificación química de celulosa natural. Los principales representantes son el celofán, el acetato de celulosa, el éster de celulosa, la celulosa regenerada para fibras y los biomateriales compuestos de celulosa. La celulosa de plantas y la celulosa de bacterias tienen la misma estructura química, pero diferentes propiedades fisicoquímicas. Las bacterias generalmente producen celulosa como un componente extracelular para protección de agentes mecánicos y químicos, así como para facilitar la adhesión de células a tejidos huéspedes (Valero et al., 2013).

La celulosa es el biopolímero más abundante en la naturaleza, representa un importante rol como elemento de refuerzo sin dejar de ser biodegradable, debido a esto, en los últimos años se ha incrementado el interés en el uso y desarrollo de materiales compuestos reforzados con esta, aislándola de fuentes como plantas, animales y microorganismos (Escuela de Ingeniería et al., 2013).

En el caso de la celulosa bacteriana (CB) esta es producida por bacterias del género *Gluconacetobacter*, *Rhizobium*, *Sarcina*, entre otros. Estos

microorganismos pueden sintetizar nanocintas de celulosa a partir de fuentes de carbono como glucosa, fructosa, entre otros (Escuela de Ingeniería et al., 2013).

Biopolímeros obtenidos a partir de monómeros bio-derivados

Aceites vegetales: Hoy en día los aceites vegetales son una de las fuentes más importantes en la síntesis de biopolímeros. Los aceites vegetales pueden ser obtenidos de plantas y, en su mayoría, están compuestos por triglicéridos. Los triglicéridos son moléculas altamente funcionales, y, por lo tanto, se han utilizado en la síntesis de polímeros reticulados a través de dos estrategias principales. La primera, es aprovechar los grupos funcionales presentes en los triglicéridos, tales como dobles enlaces internos, alcoholes, o epóxidos, que se pueden polimerizar usando diferentes métodos. La segunda estrategia depende de modificaciones químicas antes de la polimerización (Valero et al., 2013).

Entre los aceites de triglicéridos que se utilizan en la preparación de biopolímeros se encuentran el de linaza, girasol, higuera, soja y palma. Algunos tipos de polímeros preparados a partir de aceites de triglicéridos se enumeran a continuación: poliésteres, poliuretanos, poliamidas, resinas acrílicas, resinas epoxi y poliéster amidas (Valero et al., 2013).

Poli (ácido láctico) (PLA): El poli (ácido láctico) es un polímero sintético termoplástico de la familia de los alfa-hidroxiácidos o poliésteres alifáticos derivado al 100% de materias primas renovables, que se producen a partir del ácido láctico. El ácido láctico se produce por fermentación anaerobia de substratos que contengan carbono, ya sean puros (glucosa, lactosa) o impuros (almidón, mezclas) con bacterias y hongos (Valero et al., 2013).

Entre las ventajas que presenta el PLA se tiene que es biodegradable, reciclable y compostable. Adicional a esto, es biocompatible, es decir, no produce efectos tóxicos o cancerígenos en los tejidos locales. Puede ser procesado por moldeo, inyección, extrusión de película, moldeo por soplado, termo formado, hilado de fibras, y de formación de película. De otro lado, el PLA permite ahorrar energía debido a que se requiere de un 25-55% menos energía para su producción que los polímeros basados en el petróleo (Valero et al., 2013).

Polímeros producidos directamente por organismos ó EPS (biopolymers produced by the microorganisms)

Son biopolímeros producidos por microorganismos, éstos han sido reconocidos por investigadores como un floculante potencial por sus aplicaciones en aguas residuales y procesos de tratamiento de lodos. Los EPS tienen características especiales tales como adsorción, biodegradabilidad y propiedades hidrofóbicas (More et al., 2014).

Un ejemplo de éstos son los Poli (hidroxialcanoatos) (PHA), biopolímeros de tipo polihidroxialcanoato que son poliésteres sintetizados por ciertas bacterias que los acumulan como reservas de carbono y energía, en forma de gránulos intracitoplasmáticos, constituidos por unidades repetitivas de diversos hidroxiaácidos o mezclas de ellos, producidos mediante fermentación de materias primas renovables. Los PHA son producidos directamente mediante fermentación de una fuente de carbono por parte del microorganismo (Valero et al., 2013).

Los PHAs son sustitutos atractivos de los poliésteres de origen petroquímico, dado que en la naturaleza, los microorganismos son capaces de degradarlos hasta CO₂ y agua, en condiciones aerobias, y hasta metano, en condiciones anaerobias, por acción de las enzimas PHA despolimerasas y PHA hidrolasas (Valero et al., 2013).

Los polihidroxicanoatos (PHA.s) son gránulos intracelulares que se acumulan en diferentes especies bacterianas bajo estrés nutricional generado por exceso en una fuente de carbono y déficit de otros nutrientes como nitrógeno, fósforo y magnesio (Anderson et al., 1990).

Los polihidroxicanoatos (PHA.s) exhiben un amplio rango de aplicación en la industria, la medicina, la farmacología y la agricultura; sin embargo, al contrario de los polímeros convencionales como el polipropileno o el polietileno, los PHA.s se sintetizan desde recursos renovables, son biodegradables, insolubles en agua, no tóxicos y exhiben propiedades termoplásticas (Llana et al., 2003) (Rehim, 2007).

Dentro del grupo de microorganismos productores PHA's se destacan algunas bacterias Gram negativas (las más utilizadas a escala industrial) como *Wautersiaeutropha*, *Methylobacterium organophyllum*, *Pseudomonas oleovorans* y recombinantes de *Escherichia coli*, así como también se reportan algunas Gram positivas de los géneros *Clostridium*, *Streptomyces*, *Staphylococcus*, *Corynebacterium*, *Nocardia*, *Rhodococcus* y *Bacillus* (Valapril et al., 2007).

Polímeros sintéticos biodegradables

PAM: En términos de disponibilidad de agua en el suelo, los polímeros sintéticos de alto peso molecular derivados de la poliacrilamida ofrecen una alternativa al incrementar la capacidad de retención de humedad del suelo (Gutiérrez et al, 2008).

El uso de polímeros sintéticos para mejorar algunas propiedades físicas del suelo se remonta al inicio de la década de los 50's. Las cantidades requeridas y el alto costo de los productos disponibles en ese entonces limitaron fuertemente su uso generalizado. Sin embargo, es innegable el beneficio que productos como las poliacrilamidas u otros similares ha producido sobre las propiedades físicas del suelo y la respuesta de algunos cultivos (Gutiérrez et al, 2008).

La poliacrilamida es un gel que se forma como consecuencia de la polimerización de monómeros de acrilamida en cadenas largas unidas entre sí, constituyendo una red por medio de unidades de Bisacrilamida (Gutiérrez et al, 2008).

Seybold (1994), destaca que entre sus propiedades está: el PAM es un polímero sintético orgánico de alto peso molecular. Soluble en agua que primeramente interactúa en las fracciones de las arcillas del suelo.

Es efectiva en la estabilidad de los agregados del suelo, reduciendo la erosión del mismo e incrementando la infiltración del agua y también ha tenido un impacto indirecto significativo sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos.

Dentro de las ventajas de utilizar el PAM se encuentran que el costo no es alto y son fáciles de usar.

Polímeros súper absorbentes (SAPs) ó Hidrogeles: Han sido establecidos como acondicionadores del suelo para reducir la pérdida de agua e incrementar el rendimiento de cultivos. Sin embargo, hay pocos estudios acerca de cómo los SAPs afectan la actividad microbiana. Los efectos de los SAPs dependen de la estrategia de aplicación, no solo para mejorar el rendimiento del cultivo sino también para la respiración microbiana (Li et al., 2013).

Los hidrogeles son polímeros que tienen la capacidad de absorber y ceder grandes cantidades de agua y otras soluciones acuosas sin disolverse. Dicho proceso ocurre a distintas velocidades de acuerdo al grado de polimerización del material (Estrada et al., 2010).

La rápida multiplicación tanto de la variedad de compuestos utilizados, como de los mecanismos de síntesis, ha permitido la obtención de hidrogeles con mayor capacidad de absorción de agua y con diversas características físicoquímicas,

estas últimas condicionan el hinchamiento del gel y, por lo tanto, su desempeño (Martínez et al., 1998).

Debido al potencial comercial que presentan, en los últimos años se ha desarrollado un importante trabajo de investigación sobre ellos, lo cual ha derivado en la obtención de polímeros hidro-absorbentes aptos para usarse en nuevas y diversas aplicaciones (Estrada et al., 2010).

Desde hace 20 años se han realizado ensayos que demuestran que el uso extensivo de polímeros hidroabsorbentes mejora la capacidad de retención de agua en el suelo, favoreciendo el crecimiento de las plantas, al mezclar el polímero con el suelo se consigue aprovechar mejor el agua de lluvia o riego al perderse menor cantidad de agua por filtración, también se consigue disminuir la evaporación de la misma (Cothem et al., 1991).

Estos dos factores mejoran la actividad biológica y aumentan la producción agrícola, es por esto que el uso de este tipo de polímeros permite la recuperación de zonas semiáridas o terrenos de cultivos abandonados y poco fértiles (Estrada et al., 2010).

Poly (vinyl acetate): El acetato de vinilo puede ser polimerizado en masa, en solución, emulsión y suspensión, la polimerización se lleva a cabo durante un periodo de aproximadamente cuatro horas a 70 oC (Wheeler et al., 1952).

Originalmente el acetato de vinilo era preparado industrialmente por la reacción de acetileno con ácido acético o por oxidación de etileno (Wheeler et al., 1952).

El acetato de vinilo se puede polimerizar fácilmente en masa, en solución, emulsión y suspensión. En las conversiones superiores al 30%, se puede producir transferencia de cadena de polímero o monómero (Wheeler et al., 1952).

Los polímeros se suministran normalmente en forma de emulsiones que también difieren en el tamaño de la partícula, el signo de la carga de la partícula y el pH de la fase acuosa (Wheeler et al., 1952).

Polyvinyl alcohol (pva): Sinónimos: Alcohol de polivinilo, PVOH, poli (vinil alcohol) El alcohol polivinílico es un polímero soluble en agua, que se produce comercialmente a partir de acetato de polivinilo, por lo general por un proceso continuo. El alcohol polivinílico se clasifica en dos clases, a saber: parcialmente hidrolizado y completamente hidrolizados. PVA parcialmente hidrolizado se utiliza en los alimentos como una película de barrera de humedad para tabletas de suplementos alimenticios y para los alimentos que contienen inclusiones o alimento seco con inclusiones que necesitan ser protegidos de la absorción de humedad (FAO, 2004).

El PVA ha sido utilizado en estudios recientes para reducir la escorrentía y pérdida de suelo por erosión; aumentando la formación de agregados estables, que mejoraran la aireación, aumentan la infiltración y la permeabilidad del suelo (Tumzavas & Tumzavas, 2011). También ha sido empleado en combinación con enmiendas orgánicas para el tratamiento de suelos con problemas de salinización (Dejbhimon & Wada). El PVA es conocido por mostrar un efecto positivo en la estructura del suelo, la estabilidad y la porosidad del suelo arcilloso, al ser un material no tóxico, biocompatible, y biodegradable, que parece ser un ingrediente adecuado para aplicación al suelo (Chiellini et al., 2007).

Hidrosembrado: Es una técnica donde se utiliza una especie de polímero, la cual consiste en la colocación de semillas en un lodo o mezcla acuosa. Ésta se rocía sobre la superficie del terreno formando una capa delgada. Las semillas conjuntamente con un pegante (polímero) y nutrientes se colocan hidráulicamente utilizando un equipo de bombeo. La consistencia de la mezcla se obtiene agregándole una emulsión, látex o almidones orgánicos, los cuales le dan una viscosidad que le permite adherirse a la superficie, también se colocan nutrientes,

cal para controlar la acidez, pulpa de madera o paja picada u otros productos que le ayuden al producto a mantener la humedad después de colocado. La cantidad de materiales de la mezcla y su composición depende de circunstancias de cada lugar. Este sistema de siembra se utiliza en taludes de gran altura o sitios de difícil acceso (Suárez, 2001).

4.4 Usos de los polímeros

El uso de polímeros proporciona soluciones a los problemas de la actualidad en la agricultura, que es maximizar la tierra y la productividad sin poner en peligro el medio ambiente y los recursos naturales.

Los polímeros influyen en las tasas de permeabilidad y evaporación e infiltración del agua a través de los suelos. Existen algunos polímeros funcionalizados que se utilizan para aumentar la eficacia de pesticidas y herbicidas, permitiendo que dosis más bajas sean utilizadas y protegiendo indirectamente el medio ambiente al reducir la contaminación (Ekebafé et al., 2011).

Los polímeros sintéticos se utilizan comúnmente en una variedad de aplicaciones agrícolas, como termoplásticos, elastómeros, el acondicionamiento del suelo, la protección fitosanitaria, recubrimiento de semillas, la siembra en gel, y el transporte de agua (Chiellini et al., 2007).

Además éstos son utilizados en revestimientos, adhesivos, materiales estructurales y para ingeniería, envasado, ropa, baterías, supercondensadores eléctricos, conductores, electroluminiscencia, biomedicina, deportes, fabricación de productos íntimos femeninos, pañales, entre otros.

En este sentido, el uso de polímeros biodegradables ha sido planteado como una posible solución, algunos de ellos forman agregados en el suelo, lo que va a ayudar a mejorar las propiedades físicas y químicas de éste.

El mecanismo por el que alguno los polímeros son capaces de absorber tanto volumen de soluciones acuosas no es solamente físico, sino que depende de su naturaleza química (Ochoa, 2014).

Entre las fuerzas que contribuyen a su hinchamiento son la energía libre de mezcla y la respuesta elástica del entrecruzamiento, aunque también existen polímeros que presentan en su estructura unidades ionizables, es decir que presentan forma de iones. Así, cuando un polímero de estas características se introduce en un medio acuoso, las unidades iónicas se disocian y crean una densidad de carga a lo largo de las cadenas y una elevada densidad de iones en el gel (Como se cita en Ochoa, 2014).

Este carácter iónico produce unas nuevas fuerzas que condicionan el hinchamiento. Por un lado, la diferencia entre la concentración de iones entre el gel hinchado y la solución externa produce una presión osmótica, es decir la fuerza que debe aplicarse sobre una solución cuando se necesita frenar el flujo por medio de una membrana de características semipermeables, que sólo puede reducirse a través de la dilución de carga, es decir, por el hinchamiento del gel, y por otro, la densidad de carga neta entre las cadenas genera repulsiones electrostáticas que tienden a expandir el gel, lo que contribuye al hinchamiento (Como se cita en Ochoa, 2014).

En síntesis, el funcionamiento de estos polímeros comienza en su estado seco donde su estructura molecular es similar a un ovillo rizado, que al entrar en contacto con el agua causa que esta se despliegue y endurezca; aumentando así la viscosidad del líquido circulante (Ochoa, 2014).

A pesar de las grandes diferencias de su composición y estructura, hay una serie de propiedades comunes a todos ellos que los distinguen de otros materiales (Como se cita en Ochoa, 2014).

Comenzando con la densidad, la cual es relativamente baja y se extiende desde 0.9 hasta 2.3 g/cm³. Esto se debe fundamentalmente a que los átomos que los componen son ligeros y con una separación relativamente grande. Permitiendo un

fácil manejo y otorgándoles una ventaja al realizar diseños, en donde el peso sea una limitante (Ochoa, 2014).

Por otro lado, la conductividad térmica es otra de las características ocasionada por la ausencia de electrones libres que tiende a ser sumamente pequeña. Generando un inconveniente durante su transformación, provocada por su lenta absorción de calor así como en su eliminación que muchas veces resulta costosa. No obstante, su aplicación térmica es una cualidad que permite ser utilizados como aislantes térmicos (Ochoa, 2014).

En cuanto a su conductividad eléctrica presentan una alta resistencia a ella por lo que son utilizados como aislantes en aparatos y conducciones que funcionen con corriente o la transportan (Ochoa, 2014).

Así mismo, las propiedades ópticas son otro de los parámetros que los autores toman en cuenta, dado a que en los polímeros sin aditivos por lo general son bastante traslucidos, aunque esta propiedad se encuentra fuertemente influida por la cristalinidad del material. Los polímeros amorfos resultan transparentes mientras que los translúcidos son opacos. Esto ocasionado por las zonas cristalinas dispersoras de luz, evitando su libre transmisión, dando lugar a traslucidez u opacidad exceptuándose cuando se orienta a secciones muy finas (Ochoa, 2014).

Por el contrario los polímeros amorfos el acomodo al azar de sus moléculas no causa difracción de la luz importante, permitiendo una transparencia muy buena y transmitancia de luz superior al 90% (Ochoa, 2014).

La resistencia química que presenta está fuertemente influenciada por el grado de cristalinidad. En los polímeros cristalinos los disolventes pueden atacar ligeramente la superficie del polímero, que tiene una menor cristalinidad. Cuando se aplica un esfuerzo las grietas producidas no se propagan una vez que llegan a las zonas cristalinas (Ochoa, 2014).

Los polímeros amorfos presentan una mayor solubilidad que los cristalinos. Los disolventes atacan al polímero formando pequeñas grietas que se extienden por

todo el polímero cuando se aplica un esfuerzo por pequeño que sea (Ochoa, 2014).

Recomendación en su uso en la agricultura.

En los últimos años, debido sobre todo a las posibilidades comerciales que presentan estos compuestos, se ha desarrollado un importante trabajo de investigación sobre estos materiales, lo que ha derivado en la obtención de polímeros súper absorbentes usados en nuevas y muy diversas aplicaciones. Así, se están fabricando productos con estos polímeros que ya forman parte de la vida cotidiana, y que van desde pañales hasta productos para agricultura, la industria alimentaria o las telecomunicaciones entre otros (Ochoa, 2014).

Pese a que su uso está enfocado principalmente en los plásticos para los invernaderos, su aplicación con los polímeros súper absorbentes tiene poco tiempo de implementación (Ochoa, 2014).

Desde hace unos 20 años se están realizando ensayos que demuestran que el uso extensivo de polímeros súper absorbentes mejora la capacidad de retención de agua del suelo, favoreciendo por tanto el desarrollo de las plantas (Como se cita en Ochoa, 2014). Al mezclarse el polímero con el suelo se consigue, por un lado, aprovechar mejor el agua de lluvia o riego al perderse menor cantidad de agua por filtración, y por otro lado, también se consigue disminuir la evaporación de la misma. Estos dos factores son suficientes para mejorar la actividad biológica y aumentar la producción del suelo (Como se cita en Ochoa, 2014).

Además, la utilización de polímeros también produce una mejora de la estructura del suelo y de la aireación del mismo. Así, el uso de este tipo de polímeros permitiría, por ejemplo, la recuperación de zonas semiáridas o terrenos de cultivos abandonados y poco fértiles cuando se emplea de forma extensiva. También se han utilizado, mezclándolo con abonos, en campañas de reforestación, donde proporcionan a los plantones una reserva de agua para las primeras fases (las más críticas) de su adaptación al terreno permitiendo una disminución en la cantidad de agua empleada en el riego o bien, un mayor espaciado de los mismos,

con el consiguiente ahorro de agua y dinero que ello supone (Como se cita en Ochoa, 2014).

5. DESARROLLO METODOLÓGICO

El presente trabajo es una investigación de carácter descriptivo en el que en primer lugar se procederá a realizar una revisión de la literatura a través de diferentes bases de datos científicas, entre las cuales se encuentran Springer, Ebsco Host, ScienceDirect, SciElo, algunas de las palabras clave a utilizar son soil erosion, polymer, biodegradable polymer, soil, uso de los polímeros, tipos de polímeros, tanto en inglés como en el español. Estas bases de datos fueron escogidas debido a que la información que contienen los artículos científicos provienen de investigaciones exhaustivas a nivel mundial. Los artículos a seleccionar deben contener información actual y donde se mencione el uso de polímeros. Con ésta se podrá identificar polímeros con potencial para ser utilizados en el manejo de suelos erosionados.

Otra fuente de búsqueda de información son libros como “Control de la Erosión en Zonas Tropicales” del autor Jaime Suárez Díaz, “EL SUELO: Origen, Propiedades, Espacialidad” de Daniel Jaramillo y “Manejo de Nutrientes en suelos del Trópico” de Nelson Walter Osorio, éstos fueron escogidos debido a que son autores colombianos, con esto se pueden obtener datos e información en general del suelo a nivel nacional.

Por medio de la información encontrada, se procederá a describir cada polímero encontrado y los usos de éstos en general, también qué reportes existen de experimentos y trabajos que se han realizado a nivel mundial, en Colombia y en el departamento de Antioquia.

Luego se procederá a recopilar información en campo, la cual será obtenida por medio de visitas a diferentes lugares en el departamento de Antioquia donde se han utilizado polímeros en la rehabilitación de suelos erosionados, por medio de una serie de preguntas con las que se quiere conocer cómo se han implementado estos materiales poliméricos en los diferentes proyectos, éstas serán realizadas a profesionales del área ambiental de cada uno de los proyectos visitados.

A continuación se presenta el cuestionario a realizar a los profesionales del área ambiental:

1. ¿Qué programas de rehabilitación de suelos se han realizado?
2. ¿Qué tipos de polímeros se han utilizado para rehabilitar las zonas degradadas?
3. ¿Se han realizado mezclas con otros polímeros, con enmiendas orgánicas o con fertilizantes de liberación lenta?
4. ¿Han utilizado microorganismos en las mezclas realizadas?
5. ¿Se han observado resultados con la aplicación del polímero?
6. ¿Cuánto tiempo se demora el proceso de rehabilitación del suelo con la aplicación del polímero?
7. ¿En qué tipo de suelo se ha aplicado el polímero?
8. ¿Cuál es la cantidad de polímero utilizada por agujero?
9. ¿Cómo son las condiciones de precipitación y temperatura en las zonas donde se ha utilizado el polímero?
10. ¿Cuánta agua puede absorber el polímero?
11. ¿Qué especies de flora se han utilizado en el proceso de rehabilitación?
12. ¿En qué lugares se han realizado procesos de rehabilitación de zonas degradadas?

Luego de revisar la literatura y recopilar la información en campo, se pretende realizar un análisis basado en dicha información, donde se darán a conocer cuáles son los diferentes materiales poliméricos que cuentan con características

adecuadas para ser implementados en el país, en aquellos suelos donde se requiera un mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas.

Las características son: aumenta la capacidad de retención de agua de los suelos y substratos, reduce la frecuencia de riego, disminuye el lixiviado de nutrientes, reduce los costos de riego y fertilización, ayuda al establecimiento de árboles y arbustos y mejora la calidad de las plantas.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Información obtenida mediante revisión bibliográfica

A nivel mundial y nacional se han realizado investigaciones y experimentos con diferentes polímeros en diversos campos.

En el departamento de Nariño (Colombia), por ejemplo, realizó una búsqueda de bacterias productoras de PHAs, para luego seleccionar aquellas que tuvieran potencial industrial. La detección presuntiva de bacterias PHA.s se realizó a partir de muestras de suelo y agua, utilizando la técnica de tinción Rojo Nilo, los aislamientos seleccionados se sometieron a una fermentación Batch, y el polímero obtenido se caracterizó por cromatografía de gases y cromatografía de gases-espectrometría de masas. Aquellos aislamientos con mayor acumulación de polímero se caracterizaron mediante pruebas bioquímicas y la secuencia parcial del gen rRNA 16S. Finalmente, se evaluó la producción de PHA.s utilizando como sustrato aguas residuales domésticas. Se obtuvo 189 aislamientos bacterianos que produjeron desde $0,01\text{gL}^{-1}$ (Otero et al., 2013).

En otro estudio evaluaron la degradación en el suelo de polímeros destinados para aplicaciones agrícolas mediante la comparación de dos polímeros biodegradables como lo son: Poli (ácido láctico) (PLA) frente Polihidroxialcanoatos (PHA), éstos se estudiaron en el ambiente de un suelo real y simulando las condiciones del enterramiento en el suelo bajo condiciones de laboratorio. Para ambos polímeros los resultados obtenidos en condiciones reales y simuladas de entierro del suelo fueron similares. Se demostró que el comportamiento de degradación sigue un patrón diferente para los dos materiales (Rudnik et al., 2011).

En una investigación se estudió la degradabilidad de un polímero fabricado con almidón de yuca, para esto se realizó la caracterización del material y se sometió a diferentes medios como agua dulce y salada, luz solar y la simulación de un relleno sanitario por varios períodos. Para determinar la degradabilidad del material se midió el porcentaje de mineralización, así como cambios en las propiedades mecánicas, morfología superficial, absorbancia en IR y pérdida de peso, dependiendo del tipo de medio. De los resultados obtenidos se encontró que

el polímero es degradado al estar sometido a la simulación de relleno sanitario, agua salada y, en menor medida, a la luz solar, pero en el agua dulce el polímero no se degrada (Ruiz et al.,2009).

Así mismo en otra prueba se evaluó la degradabilidad de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca con base en la implementación de la metodología Taguchi. El almidón dulce de yuca se mezcló, variando las condiciones, según lo indicado por el diseño de experimentos, con reactivos que cumplen la función de plastificantes, extensores, espesantes, lubricantes, humectantes y desmoldantes. Las diferentes mezclas se sometieron a procesos comunes para los polímeros convencionales en un molino abierto, una inyectora y una prensa de vulcanización. El proceso experimental arrojó como resultado seis muestras poliméricas con características adecuadas, que se sometieron a la medición de sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y de biodegradabilidad (Meneses et al., 2007).

En otro trabajo, se comparó la biodegradación de poli e-caprolactona (PCL), acetato de celulosa (CA) usando una técnica de biodegradación aeróbica conocido como el ensayo de Sturm. El grado de biodegradación se evaluó por la pérdida de masa. Los polímeros fueron también caracterizados por análisis térmico utilizando calorimetría diferencial de barrido (DSC). El resultado arrojado fue que la mezcla 40PCL / 60CA mostró biodegradación más rápido que las otras mezclas, debido a una mayor producción de CO₂ en medio aerobio (ensayo de Sturm) (Calil et al., 2006).

Medellín no es ajena a la utilización de polímeros, en esta ciudad fue descubierta una especie del género *Gluconacetobacter*, la cual fue denominada *Gluconacetobacter medellinensis*, nunca antes identificada en el mundo, la cepa de esta Bacteria puede producir celulosa químicamente pura, y la principal ventaja es que ésta puede ser obtenida a partir de residuos agroindustriales, lo cual reduce los costos de aplicación. En un estudio realizado por la Universidad

Pontificia Bolivariana utilizaron celulosa bacteriana y como polímero usaron el alcohol de polivinilo (PVA), para el crecimiento celular y la regeneración de tejidos (Giraldo, 2015).

En la actualidad se estudia la Celulosa Bacteriana en aplicaciones biomédicas, debido a que es químicamente pura, no tóxica, no pirogénica, biocompatible y conformable, es decir, durante su biosíntesis el microorganismo puede producir una membrana que imita la forma de un contenedor permeable al oxígeno. (Osorio et al., 2013).

En otra exploración relacionada con la celulosa bacteriana, se evaluó esta misma, la celulosa vegetal y poli (3-hidroxibutirato), para esto se utilizaron técnicas como: el análisis termogravimétrico y la microscopía electrónica de barrido. Las muestras de polímeros fueron enterradas en macetas que contenían suelo y fueron removidas en intervalos de 30 días hasta 180 días. Los resultados mostraron que la masa del polímero aumentó en el primer mes cuando estuvo en contacto con el suelo, pero luego se degradó evidenciándose por la pérdida de masa y los cambios en la superficie de la muestra (Schropfer et al., 2015).

Según lo revisado en la literatura, uno de los polímeros más utilizados en el mundo son los SAPs (Polímeros Súper Absorbentes).

En Brasil se llevó a cabo un experimento en un invernadero del sector de la producción de café, el cual fue establecido en macetas con un suelo arcilloso. El experimento fue arreglado en un diseño de bloques al azar en sub-lotes con tres repeticiones, dando un total de 48 unidades experimentales. Se utilizaron cuatro niveles de riego (25%, 50%,75% y el 100% del agua disponible), se asignaron aleatoriamente a los lotes; el tipo de plántula (crecimiento en bolsas o tubos), y el uso del polímero de retención de agua fueron asignados al azar a los sub-lotes. Se le hizo seguimiento, evaluado a intervalos de 60 días durante el experimento (360 días a partir de plantación). Como resultado, el polímero de retención de agua

favoreció el crecimiento de las plantas de café bajo un sistema de regadío. La irrigación resultó en un mayor crecimiento de las plantas, las plántulas cultivadas en bolsas mostraron un mayor crecimiento comparado con las plántulas cultivadas en tubos (Souza et al., 2014).

Un experimento realizado en un invernadero se llevó a cabo para explorar el papel del ácido ascórbico en aplicación foliar y la aplicación de un polímero súper absorbente para mitigar los efectos adversos del cadmio (Cd), en términos de los parámetros bioquímicos en el trigo. Para realizar la prueba se instaló un diseño completamente al azar, con tratamientos dispuestos en un esquema factorial con tres niveles de polímero súper absorbente (0 g kg⁻¹, 4 g kg⁻¹ y 8 g kg⁻¹ de suelo) por tres niveles de ácido ascórbico (0 mm, 50 mm y 100 mm), con cuatro repeticiones. Los resultados arrojados fueron que con el polímero súper absorbente se aumentó el rendimiento de la semilla (22,68%), peso de la semilla (19,31%), la clorofila (27,97%) y el contenido de ácido ascórbico (65,51%), mientras que reduce la acumulación de Cd en hojas (34,27%) y semillas (32,97%), así como antioxidante enzimas de la actividad y la peroxidación lipídica (43,77%) Con el ácido ascórbico aumentó el rendimiento de la semilla, peso de la semilla, y el contenido de clorofila por 12,62%, 17,66% y 13,17%, respectivamente. Como resultado, el ácido ascórbico y el polímero súper absorbente podría mejorar la capacidad de supervivencia y el rendimiento de las plantas de trigo en respuesta a contaminación de Cd en el suelo (Tohidi, 2016).

En otro estudio relacionado con los SAPs evaluaron la aptitud de estos polímeros en la producción de plantines de pimiento, adicionando un copolímero de propenamida-propeonato a sustratos preparados con y sin materiales compostados, y también a un sustrato comercial. El resultado obtenido fue que la adición del polímero al sustrato permitió mejorar la precocidad, uniformidad, calidad y tamaño de plantines de pimiento, especialmente en las mezclas carentes de compost, ya sea por una mayor retención hídrica, por una mayor capacidad de intercambio iónico, o por ambas razones (Tittonel et al., 2002).

En otro trabajo se estudió el comportamiento de hidrogeles absorbentes hechos con distintas concentraciones de gretina entrecruzada con poli ácido acrílico de diferentes pesos moleculares. Los hidrogeles fueron modificados con nanotubos de carbono del tipo “unicapa” y “multicapa” para evaluar la capacidad de absorber y liberar agua para su posible aplicación en agricultura. Las pruebas de retención de agua mostraron que los hidrogeles son capaces de absorber el equivalente a 100% de su peso de agua. Cuando los hidrogeles se modifican con nanotubos de carbono presentan mayor capacidad de absorción de agua comparados con los hidrogeles a los que no se les incorporó nanotubos de carbono, en este caso la absorción de agua fue el equivalente de hasta un 300% de su peso seco. Las pruebas de liberación de agua mostraron que los hidrogeles sin nanotubos de carbono pierden agua de manera proporcional al tiempo de secado, en cambio, los hidrogeles modificados con nanotubos de carbono pierden agua de acuerdo a una función cuadrática del tiempo de secado (Estrada et al., 2010).

En otra investigación realizada utilizaron dos tipos de polímeros Súper Absorbentes, Jaguar C (JC) y Jaguar S (JS), para evaluar el crecimiento de trigo de invierno, las propiedades físicas del suelo, la abundancia y la actividad microbiana. Se encontró que la adición de SAPs promovió la formación de agregados del suelo (tamaño de partículas > 0,25 mm) y se observó abundancia de bacterias del mismo en el cultivo de trigo. Se analizó que los SAPs también aumentaron significativamente el contenido de agua del suelo (SWC) y la máxima humedad higroscópica de éste (SMHM). Los resultados mostraron que la aplicación de los SAPs no dieron lugar a efectos adversos detectables sobre la comunidad microbiana del suelo, incluso podría mejorar en éstos la actividad microbiana. Los efectos de los SAPs dependen de los métodos de aplicación en el campo, la aplicación de Jaguar C (JC) aumentó el rendimiento del cultivo (Li et al., 2014).

En otro estudio se trató suelos contaminados por medio de un biorreactor de suspensión del suelo, con una nueva tecnología en la que un contaminante es rápida y efectivamente eliminado de la tierra por medio de perlas de polímero de absorción, que se añaden al bioreactor de dos fases de partición para la biodegradación de la molécula 4-nitrofenol (4NP). Los resultados arrojaron que los polímeros fueron capaces de eliminar rápida (hasta 77% y 85% en 4 y 24 h, respectivamente) y selectivamente el contaminante, el suelo retuvo sus nutrientes y el contenido de microflora. Los polímeros se regeneran fácilmente para reutilizarlos posteriormente, lo que demuestra la versatilidad de la tecnología de tratamiento de suelo a base de polímero (Tomei et al., 2013).

En otra investigación, desarrollaron un sistema inteligente autónomo que incluyó un nuevo hidrogel en una válvula, que reguló el flujo de agua de acuerdo con la humedad del suelo. El principal objetivo era encontrar una alternativa para evitar el desperdicio de agua. Sin embargo, el desarrollo de hidrogel y el estudio de la relación cuantitativa entre sus propiedades y la humedad del suelo también eran importantes para lograr este objetivo. El hidrogel se sintetizó a partir de hidroximetil metil acrilamida (NAT) copolimerizado con metacrilato de metilo (MMA) y reticulado con N, N bis-metileno (acrilamida) (BPI). Cuando el material se puso en contacto con el suelo, se hinchó y permaneció sin romperse. El hidrogel dentro de la válvula fue capaz de abrir y cerrar el paso del agua. El prototipo de la válvula fue probada durante cuatro meses con una planta, durante este período, sólo tres litros de agua de riego se utilizaron mensualmente, en lugar de aproximadamente medio litro al día. Por lo tanto, un actuador autónomo capaz de controlar la humedad del suelo se ha desarrollado sobre la base de un nuevo hidrogel (Romero et al., 2016).

En Malasia se utilizó un polímero líquido comercial (SS299) para mejorar la resistencia del suelo de esta zona y la resistencia a la compresión no confinada (UCS). Los resultados mostraron que la adición de 6% (como la cantidad óptima) del polímero seleccionado aumentó la resistencia a la compresión del suelo laterita

notablemente, después de 7 días de periodo de curado. Basándose en los resultados FESEM, se encontró que el proceso estabilizó y modificó la red porosa del suelo de laterita. Además, las nuevas capas blancas de productos de reacción se formaron en la superficie de las partículas de arcilla (Latifi et al., 2016).

En Chile en el ciclo otoño-invierno 2011-2012 se evaluó el uso de un polímero hidrófilo a base de poliacrilamida (PAM) con el propósito de mejorar la eficiencia en el uso de agua en la producción de hortalizas usando riego por goteo bajo condiciones de invernadero. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con cinco repeticiones. Los parámetros evaluados fueron: frutos por metro cuadrado, peso del fruto, rendimiento, tamaño (longitud y diámetro), volumen de agua aplicada, eficiencia en el uso de agua (EUA) y contenido de clorofila. Con el polímero se tuvo un incremento del 1,5% en contenido de humedad en el suelo, que representó una reducción del 12% en el volumen de agua aplicada y una lectura de 58,4 contra 57,7 del testigo, por lo que el uso del polímero hidrófilo puede ser una práctica importante para productores que deseen aplicar riegos menos frecuentes, además de reducir el tiempo de riego (López et al., 2013).

En Chile la escasez hídrica es un fenómeno que está afectando fuertemente a las zonas agrícolas del país. Es por ello que, en el marco del Año de la Innovación, se están buscando diversas alternativas para enfrentarla. Una de ellas es el proyecto que está realizando el Grupo de Estudios de Agua (GEA), de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, que usará polímeros sintéticos para reducir la demanda de agua y riego en la región de O'Higgins (El Pulso, 2013).

Los polímeros hidrofílicos de origen sintético son monómeros de alto peso molecular que han sido usados como absorbentes en la industria. Éstos se diferencian entre ellos por un monómero específico que es capaz de retener un gran volumen de agua en relación a los gramos de material. Esta capacidad de absorción, contención y liberación de agua cuando la planta lo necesita, depende

parcialmente del tamaño de la partícula, distribución y salinidad del medio (El Pulso, 2013).

Como lo explica Julio Haberland, director de la iniciativa “Los beneficios derivados del uso de estos polímeros en la agricultura se asocian principalmente a que incrementan la capacidad de almacenar agua en el suelo; mejoran la relación tamaño/número de poros; aumentan las reservas de nutrientes en el suelo y reducen la compactación” (El Pulso, 2013).

En otro experimento en el sureste de México realizaron estudios donde se propone que la poliacrilamida sea utilizada como remediadora de suelos contaminados por hidrocarburos. Ya que anteriormente ha sido utilizada para este fin por otro autor, en donde observó una reducción de concentración del 76% de hidrocarburos en el suelo tratado y en otro contaminado con diesel, la reducción fue del 60%.

Otro caso en México es el realizado por la Universidad de Chapingo donde el objetivo fue evaluar el efecto del polímero Acustock® en el rendimiento de la acelga utilizando cuatro suelos característicos de la Comarca Lagunera, Arenoso (A), Arcilloso (R), y Migajoso arcilloso (MR1) y (MR2). Fueron aplicadas dosis de 2, 4 y 8 Kg/suelo de poliacrilamida (PAM) y un testigo sin PAM. Las dosis de cada uno de los tratamientos fueron mezcladas en los suelos y colocadas en macetas. Los resultados indicaron las aplicaciones de PAM incrementaron el rendimiento de la acelga en un suelo arenoso, sin embargo esta tendencia es relativamente menor en comparación con un suelo arcilloso donde se obtuvieron los mejores resultados al agregar PAM a 8 Kg/suelo logrando un incremento en la producción con respecto a no agregar PAM. Esto refleja un efecto de la poliacrilamida en la retención de humedad del suelo, incrementando número de hojas, peso fresco de hojas y área foliar. (Gutiérrez et al., 2008).

En otro estudio se utilizó polímeros hidrofílicos de los pañales para ayudar a la creación de una planta nativa (*Spergularia purpurea phil*) en un suelo de una mina

de pirita. Los evapotranspirómetros se llenaron con el suelo de mina sin modificación (control), con un polímero de poliacrilato, con un polímero eliminado de los pañales, y con los pañales triturados. El establecimiento de una cubierta vegetal fue más rápido en el suelo modificado con polímero a partir de pañales, y 85 días después de la siembra el suelo estaba completamente cubierto en todos los tratamientos, excepto en el control (Qu et al., 2010).

En la siguiente evaluación no se utilizó polímeros absorbentes, lo que se valoró fue la producción extracelular de biopolímero utilizando el hongo *Mucor racemosus* Fresenius y el glicerol como fuente de carbono. Inicialmente se emplearon matraces cónicos de 500 ml, los cuales contenían 100 ml de medio de cultivo con $0,18 \pm 0,03 \text{ g.L}^{-1}$ de los microorganismos, los resultados mostraron que las mejores condiciones de las variables estudiadas fueron: concentración inicial de glicerol al 50 g.L^{-1} , tiempo de fermentación de 96 h, tiempo de cultivo de inóculo de 120 h, y la aireación en dos etapas: la primera 24 horas sin aireación y 72 horas de fermentación con aireación de 2 vvm y 2 g.L^{-1} de extracto de levadura (Rodrigues et al., 2016).

En 1999 Ciba introdujo un producto para su uso específico en hidrosiembra llamado SoilFix, éste puede unir a los aglomerados del suelo, proporcionando estabilidad estructural. SoilFix IR es un producto granulado conteniendo un 90 % p/p de PAM, utilizado para evitar la formación de costra y en cultivos con riego por superficie para mejorar la infiltración de agua y controlar la erosión del suelo. La infiltración de agua se incrementa en más de un 30% y se han documentado reducciones de erosión de más del 95% (Ciba, 2016)

Los polímeros biodegradables se clasifican según su origen en varias clases: polímeros renovables producidos de forma natural, y polímeros sintéticos obtenidos a partir del petróleo. Algunos de los materiales poliméricos biodegradables producidos comercialmente se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7. Visión general de los principales polímeros biodegradables y sus proveedores a nivel mundial.

Polímero	Nombre comercial	Compañía
Poly (lactic acid)	Nature works PLA	Cargill, USA
	Lacty	Schimidzu, Japón
	PLA	Galactic, Bélgica
	L-PLA	Purac, Países bajos
	PLA- basado en resinas: Bio-Flex and Biograde	FKuR, Alemania
	PLA	Cereplast
Polyhydroxyalkanoato (PHA)	Biomer	Biomer, Alemania
	Nodax	Procter and Gamble, USA
	Mirel	Metabolix, USA
	ENMAT	TianAn, China
Poly (ϵ -caprolactona)	CAPA	Perstorp, Reino Unido
	Tone	Dow Chemicals, USA
	Celgreen	Daicel, Japón
Polyesteramida (PEA) Poliésteres alifáticos	BAK	Bayer, Alemania
	PBSPBS	Anqing Hexing Chemical Co. , China
	PBS	BASF, Alemania
	PBS	Mitsubishi Gas Chemical, Japón
	PBS	Ire Chemicals, Korea
	PBS	Showa Highpolymer, Japón
Copolíésteres Alifáticos	PBSA Bionolle	Showa Highpolymer, Japón
	Enpol, PBSA	Ire Chemicals, Korea

	PBSA	Kingfa, China
	PBSA	IPC-CAS, China
Copoliésteres Aromáticos (PBAT)	Ecoflex	BASF, Alemania
	Biomax	DuPont, USA
	MATER-BI	Novamont, Italia
	Eastar Bio	Eastman Chemicals, USA
Almidón	Solanyl	Rodenburg, Países Bajos

Nota. Fuente: Asther, S. A. (2016). Introduction to bioplastics engineering.

6.2 Información recopilada en campo

Profesional del área ambiental, ARGOS.

¿Qué programas de rehabilitación de suelos se han realizado?

Para elegir la estrategia que se debe implementar en un lugar determinado es fundamental realizar estudios preliminares que permitan establecer las condiciones de cada zona; con el fin de garantizar servicios ecosistémicos y biodiversidad es importante saber qué tipo de minería se realizó, que sustratos quedaron disponibles, cuál es la topografía y la geoforma del terreno, las condiciones de precipitación y temperatura, el sistema de siembra a utilizar, y tener conocimiento sobre vegetación endémica que sea lo suficientemente fuerte para desarrollarse en ambientes complejos. El proceso de rehabilitación se realiza con el fin de tratar de aproximarse a las condiciones iniciales que tenía el lugar, antes de que se comenzara con la explotación minera.

En el proceso de rehabilitación se realiza una sucesión ecológica, la cual comienza con el establecimiento de gramíneas debido a que estas plantas tienen un crecimiento rápido, buen desarrollo radicular, y ayudan a evitar que se den procesos erosivos causados por la lluvia o el viento. Posteriormente se instalan especies arbustivas y finalmente se realiza un proceso de siembra con especies arbóreas.

¿Qué tipos de polímeros se han utilizado para rehabilitar las zonas degradadas?

En los procesos de rehabilitación de las zonas degradadas se ha utilizado el hidroretenedor denominado comercialmente como Stockosorb, pero este polímero únicamente ha sido aplicado en el suelo en el momento de la siembra de la vegetación.

¿Se han realizado mezclas con otros polímeros, con enmiendas orgánicas o con fertilizantes de liberación lenta?

En los procesos no se han realizado mezclas con otros polímeros, las enmiendas orgánicas como humus y compostaje han sido aplicadas en el suelo mezcladas con tierra, y estas no han tenido ningún contacto con el polímero; en cuanto a los

fertilizantes estos normalmente son empleados en el momento del riego y durante el periodo de crecimiento de la planta, pero es importante aclarar que el fertilizante también puede ser aplicado en el momento de la siembra junto con el polímero. El fertilizante a utilizar debe ser soluble y tener altos contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio para lograr un adecuado desarrollo radicular.

¿Han utilizado microorganismos en las mezclas realizadas?

Se han utilizado micorrizas y bacterias estimulantes del crecimiento vegetal en los procesos de rehabilitación, pero sin la adición del polímero. Se han adelantado estudios con la Universidad de Antioquia para evaluar diferentes bacterias que ayuden en los procesos de adaptabilidad y crecimiento vegetal, para posteriormente escoger aquellas que den mejores resultados y que puedan ser llevadas a campo.

¿Se han observado resultados con la aplicación del polímero?

Los polímeros son una buena opción cuando se tienen condiciones extremas en la zona, y también se debe justificar en términos ambientales y económicos. Estos materiales funcionan muy bien cuando son utilizados de manera correcta, por lo cual es fundamental saber cómo y dónde se va a implementar.

¿Cuánto tiempo se demora el proceso de rehabilitación del suelo con la aplicación del polímero?

Para lograr condiciones similares a las que se tenían antes de realizar la explotación minera, el proceso de rehabilitación se puede tardar de quince a cuarenta años dependiendo de las condiciones de la zona. En el Magdalena Medio por ejemplo los procesos de rehabilitación son cortos, en aproximadamente dos meses el suelo comienza a presentar cobertura vegetal, y luego se comienzan a

recrear condiciones y a simular una sucesión ecológica con la instalación de la vegetación.

¿En qué tipo de suelo se ha aplicado el polímero?

Es de vital importancia saber con qué tipo de suelo se cuenta para determinar si es necesaria la utilización del polímero. Cuando se cuenta con suelos que tienen altos contenidos de arcilla se exime de utilizar el polímero, debido a que con éste se estaría generando un ambiente demasiado húmedo en las raíces, provocando que la vegetación no tenga un desarrollo adecuado.

¿Cuál es la cantidad de polímero utilizada por agujero?

En el momento de la siembra se utilizan 3 g del polímero por planta; el proceso de siembra con el polímero comienza con la hidratación del producto, y luego alrededor de la planta y con un recipiente se deposita la cantidad de hidrotenedor requerida por sitio.

Después del proceso de la siembra el polímero es asistido con riego hasta que haya una cobertura determinada, y después se van prolongando los periodos de riego. El riego asistido depende de la zona, por ejemplo en la Costa Atlántica hace poco se instaló un montaje, el cual debe ser asistido con riego hasta el mes de enero que comience la época de lluvias.

¿Cómo son las condiciones de precipitación y temperatura en las zonas donde se ha utilizado el polímero?

El polímero hidrotenedor únicamente es utilizado en zonas donde la oferta de agua se encuentre por debajo de 800 mm/año.

¿Cuánta agua puede absorber el polímero?

El polímero puede absorber 300 veces su peso.

¿Qué especies de flora se han utilizado en el proceso de rehabilitación?

En los procesos de rehabilitación se han utilizado principalmente especies nativas rusticas como leucaena (*Leucaena leucocephala*), matarratón (*Gliricida sepium*) y diferentes especies de acacia. También se han sembrado especies foráneas en minas de arcilla, como por ejemplo la *Acacia mangium*, la cual es utilizada en procesos de rehabilitación en zonas donde se ha realizado minería de oro, esta especie tolera pH bajo, es fijadora de nitrógeno y aporta materia orgánica.

¿En qué lugares se han realizado procesos de rehabilitación de zonas degradadas?

Cartagena, Magdalena Medio, Barranquilla, El Valle del Cauca, Girardota, Vía autopista Medellín-Bogotá, La Gabriela- Bello, entre otros.

Profesional del área ambiental, Proyecto Moravia Florece para la Vida

¿Qué programas de rehabilitación de suelos se han realizado?

El programa que se realiza en Moravia es de fitorremediación porque se busca que con unas especies de plantas se disminuya la concentración de los metales

pesados que se encuentran en el sustrato; paisajístico para que el lugar sea agradable a la vista; de amortiguación para que las plantas ayuden a que se eviten procesos erosivos ocasionados por el aire y el agua; y estabilidad del terreno para evitar posibles deslizamientos ya que en este lugar no se cuenta con un suelo evolucionado. Debido a esto se utilizan técnicas de adaptabilidad de las plantas en la zona.

¿Qué tipos de polímeros se han utilizado para rehabilitar las zonas degradadas?

En el lugar se ha utilizado un hidroretenedor llamado comercialmente Hidroretenedor K.

¿Se han realizado mezclas con otros polímeros, con enmiendas orgánicas o con fertilizantes de liberación lenta?

Si se han realizado mezclas con compostaje, el cual es producido en la misma zona; el polímero se utiliza para garantizar la humedad a la planta y se aplica sólo en la siembra. Además de lo anterior se utilizan bioformulados patentados obtenidos en laboratorio, los cuales se aplican únicamente en el momento de la propagación de la especie y funcionan como pesticidas y fungicidas para prevenir y controlar enfermedades. En cuanto a los fertilizantes químicos son muy pocos utilizados en el lugar, solo cuando es necesario (Vertimec y Vulcano)

¿Han utilizado microorganismos en las mezclas realizadas?

Se utiliza un coadyudante que es una hormona la cual se obtiene en el laboratorio en la Universidad de Antioquia, éstas ayudan a que las especies introducidas tengan una mayor adaptabilidad en el lugar creando relaciones de simbiosis y mutualismo.

¿Se han observado resultados con la aplicación del polímero?

Si se ha observado buenos resultados aplicando el polímero ya que éste acelera el proceso de crecimiento de las plantas.

¿Cuánto tiempo se demora el proceso de rehabilitación del suelo con la aplicación del polímero?

No es posible determinar un límite de tiempo, aún se desarrollan investigaciones con bacterias obtenidas en laboratorio y que puedan ser aplicadas en el lugar para ayudar en los procesos de adaptación y estimulación del crecimiento de las plantas.

¿En qué tipo de suelo se ha aplicado el polímero?

La zona no cuenta con un suelo evolucionado, por lo que se ha tenido que acudir a técnicas que ayuden al crecimiento y adaptabilidad de las especies. El polímero solo es utilizado para proveer humedad a las plantas.

¿Cuál es la cantidad de polímero utilizada por agujero?

En un balde de 20 litros se echa un vaso de 7 onzas del hidrotretenedor y se hidrata de 5 a 10 minutos, esta cantidad es utilizada por sitio y varía dependiendo del tipo de especie. La anterior técnica es para especies ornamentales y para árboles se aplica directamente el polímero sin ser hidratado. En las heliconias éste se aplica de forma granular e hidratado debido a condiciones específicas de esta especie.

¿Cómo son las condiciones de precipitación y temperatura en las zonas donde se ha utilizado el polímero?

Precipitación media anual: 1612 mm/año

Temperatura: 21.6 °C (CLIMATE-DATA.ORG, 2016)

¿Cuánta agua puede absorber el polímero?

Puede absorber 300 veces su peso.

¿Qué especies de flora se han utilizado en el proceso de rehabilitación?

Novio (*Pelargonium hortorum*)
Azulina (*Plumbago auriculata*)
Achira (*Canna x generalis*)
Ave de paraíso (*Strelitzia reginae*)
Barquito (*Tradescantia pallida*)
Barquito rodeo (*Tradescantia spathacea variegata*)
Calatea de sol (*Calathea spp.*)
Camaron amarillo (*Pachystachys lutea*)
Camaron rojo (*Justicia fulvicoma*)
Caracucha (*Iresine herbstii*)
Carey (*Cordyline terminalis*)
Cebollín (*Allium schoenoprasum*)
Cheflera (*Schefflera arboricola*)
Cinta liriopé (*Liriope muscari*)
Coccinea morada (*Leea rubra*)
Coperline (*Nandina domestica*)
Croto (*Codiaeum variegatum*)
Curazao (*Bougainvillea spectabilis*)
Duranta (*Duranta repens*)
Festuca glauca (*Festuca glauca*)
Filodendro (*Philodendron bipinnatifidum*)
Ginger (*Alpinia purpurata*)
Jazmín de noche (*Cestrum nocturnum*)
Girasol (*Helianthus annuus*)
Helecho espada (*Nephrolepis exaltata*)
Lirio (*Hemerocallis flava*)
Lengua de suegra (*Sansevieria trifasciata*)
Lantana (*Lantana camara L*)
Mani forrajero (*Arachis pintoi*)
Orquidea arundina (*Arundina bambusifolia*)
Papiro enano (*Cyperus haspan*)

Palma areca (*Dyopsis lutescens*)
Penysetum (*Pennisetum setaceum*)
Rosa (*Rosa x grandiflora*)
San Joaquín (*Hibiscus rosa-sinensis L*)
Siete cueros rastrero (*Heterocentron elegans*)
Sanguinaria (*Alternanthera brasiliana*)
Spatoglotis (*Spathoglottis plicata*)
Toscana (*Ruellia simplex*)
Vórex morado (*Colocasia esculenta*)
Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)
Zebrina (*Tradescantia zabrina*)

¿En qué lugares se han realizado procesos de rehabilitación de zonas degradadas?

Solo se ha realizado en este lugar.

Registro Fotográfico



Fotografía 1. Fuente: Propia. Proyecto Moravia Florece para la Vida



Fotografía 2. Fuente: Propia. Proyecto Moravia Florece para la Vida



Fotografía 3. Fuente: Propia. Proyecto Moravia Florece para la Vida



Fotografía 4. Fuente: Propia. Proyecto Moravia Florece para la Vida



Fotografía 5. Fuente: Propia. Proyecto Moravia Florece para la Vida



Fotografía 6. Fuente: Propia. Proyecto Moravia Florece para la Vida

Profesional del área ambiental, Generadora Luzma S.A.S. E.S.P.

¿Qué programas de rehabilitación de suelos se han realizado?

Lo que se hace en la empresa es una compensación en base a la tala de árboles por la construcción de una hidroeléctrica. Esta consiste en la siembra de 15615 árboles de los cuales se llevan plantados 4000.

¿Qué tipos de polímeros se han utilizado para rehabilitar las zonas degradadas?

Lo que se utiliza es un hidroretenedor súper absorbente (SAP). El nombre comercial es SAP Polymer Small. Este se utiliza solo en la siembra, en vivero no es recomendable que se aplique debido a que se generan condiciones muy húmedas las cuales pueden atraer enfermedades.

¿Se han realizado mezclas con otros polímeros, con enmiendas orgánicas o con fertilizantes de liberación lenta?

15 días antes de realizar la siembra se aplica en el sitio cal enmienda para bajar el pH. Pasado este tiempo se aplica 2 kilogramos de gallinaza por árbol un día antes de la siembra, al siguiente día en el momento de la siembra se añade 10 gramos de micorrizas y 5 gramos de hidroretenedor hidratado con el fin de evitar pérdidas de material y económicas.

¿Han utilizado microorganismos en las mezclas realizadas?

Lo único que se utiliza son micorrizas pero bacterias estimulantes de crecimiento no.

¿Se han observado resultados con la aplicación del polímero?

Se han observado muy buenos resultados en cuanto a la estructura del suelo ya que las enmiendas orgánicas que se aplican en el sitio tienden a compactar el suelo y con la aplicación del polímero se ha observado que es un suelo menos compacto lo que ayuda al buen desarrollo radicular de la planta y en cuanto al crecimiento se nota la diferencia entre las especies a las que se les ha aplicado el polímero y a las que no se le ha aplicado.

Con la implementación del polímero se pueden obtener ahorros económicos ya que con este sistema se evita la contratación de personal que realice el riego diario y un ahorro importante en la cantidad de agua que se utilizaría para esta labor. Debido a que son áreas muy extensas y que poseen una gran pendiente.

¿Cuánto tiempo se demora el proceso de rehabilitación del suelo con la aplicación del polímero?

En este caso no es un proceso de rehabilitación si no de revegetalización, entonces el tiempo del proceso es lo que se demore el árbol en crecer.

¿En qué tipo de suelo se ha aplicado el polímero?

En Amalfi la ventaja que se tiene es que son suelos limo-arcillosos, los cuales son fáciles de corregir.

¿Cuál es la cantidad de polímero utilizada por agujero?

Se utilizan 5 g del hidroretenedor por agujero.

¿Cómo son las condiciones de precipitación y temperatura en las zonas donde se ha utilizado el polímero?

Temperatura de Amalfi: 20.3 °C

Precipitación: 3433 milímetros/año (Duque, 2016)

¿Cuánta agua puede absorber el polímero?

Puede absorber 300 veces su peso.

¿Qué especies de flora se han utilizado en el proceso de rehabilitación?

Guayabo helecho (*Psidium guajava*).

Sarro (*Cyathea microdonta*)

Algarrobo (*Ceratonia siliqua*)

Cedro (*Cedrus*)

Jagua (*Genipa americana*)

Falso Balso (*Ochroma pyramidale*)

Soto (*Schinopsis brasiliensis*)

Yarumos (*Cecropia peltata*)

Espadero (*Myrsine coriaceae*)

Palma Barrigona (*Colpothrinax wrightii*)

Palma Zancona (*Syagrus Zancona*)

Palma Areca (*Dyopsis lutescens*)

Limón (*Citrus x limón*)

Naranja (*Citrus x sinensis*)

Guanábana (*Annona muricata*)

Anón (*Annona squamosa*)

Guama (*Inga edulis*)

¿En qué lugares se han realizado procesos de rehabilitación de zonas degradadas?

Solo se ha hecho en este lugar, pero en el vivero que se tiene se propagan helechos por esporas los cuales necesitan de ambientes muy húmedos y la aplicación del polímero ha sido de gran ayuda para esto.

Registro Fotográfico



Fotografía 7. Fuente: Brayan Duque. Proceso de revegetalización. Municipio de Amalfi



Fotografía 8. Fuente: Brayan Duque. Proceso de revegetalización. Municipio de Amalfi



Fotografía 9. Fuente: Brayan Duque. Proceso de revegetalización. Municipio de Amalfi



Fotografía 10. Fuente: Brayan Duque. Proceso de revegetalización. Municipio de Amalfi



Fotografía 11. Fuente: Brayan Duque. Proceso de revegetalización. Municipio de Amalfi



Fotografía 12. Fuente: Brayan Duque. Proceso de revegetalización. Municipio de Amalfi

6.3 Análisis de la información recopilada

Información obtenida mediante revisión bibliográfica

Característica	Polímero						
	SAP's	PAM	Almidón	Celulosa	PCL	PLA	PHA
Degradabilidad			X	X	X	X	X
Retención de Agua	X	X					
Aumento en el rendimiento de los cultivos	X	X					
Mejoramiento en la calidad de las plantas	X	X					
Aumento de microorganismos en el suelo	X						
Aumento de reservas de nutrientes en el suelo	X	X					
Reducción de la compactación del suelo	X	X					
Remediadores del suelo	X	X					
Mejoramiento de la estabilidad estructural del suelo	X	X					
Control de la erosión del suelo	X	X					

Disminución de la contaminación del suelo	X	X					
Obtención por medio de bacterias o residuos agroindustriales			X	X			X

En los estudios revisados de la literatura se mencionan diferentes materiales poliméricos que fueron implementados en el suelo, en algunas de las investigaciones dió como resultado un aumento en el rendimiento de los cultivos y un mejoramiento en la calidad de las plantas, en otros se evaluó la capacidad de absorción y degradabilidad de los mismos obteniendo buenos resultados, además que la aplicación de algunos de estos polímeros lograron mejorar la estabilidad estructural del suelo, la cual puede ayudar a mitigar los problemas erosivos. Con el uso de los polímeros SAP's y PAM se obtuvieron mejores resultados en cuanto a las diferentes características evaluadas en los diferentes estudios encontrados, por lo tanto con la implementación de estos materiales en el suelo se podrían obtener buenos resultados relacionados con el control de la erosión en el suelo.

Uno de los estudios encontrados fue el de la ciudad de Medellín donde se descubrió un nuevo género de bacterias productoras de celulosa denominada *Gluconacetobacter medellinensis*, dicha bacteria puede ser obtenida a partir de residuos agroindustriales. Colombia al ser un país agrícola cuenta con la cantidad y variedad suficiente de este material para llevar a cabo investigaciones donde se pueda obtener este polímero a un bajo costo y se pueda aplicar en el suelo para observar su comportamiento.

La celulosa y el almidón pueden ser un gran potencial a la hora de ser implementados en el suelo debido a que éstos son biodegradables, también han

sido estudiados en otro tipo de aplicaciones pero la evaluación de éstos para uso agrícola no se han llevado a cabo con profundidad.

La aplicación de los polímeros en la rehabilitación de suelos erosionados en el país no ha sido muy estudiada, y esto se ve reflejado en la información recuperada de la literatura, se observó que no se han reportado resultados de investigaciones donde se apliquen polímeros en este tipo de suelos.

Información recopilada en campo

Lo encontrado en campo no difiere mucho con lo hallado en la literatura, en los lugares visitados el material predominante es el polímero súper absorbente, el cual es utilizado únicamente en el momento de la siembra para así garantizarle humedad a la planta y es usado mayormente en zonas donde hay una baja disponibilidad de agua. Debido a esto no se han realizado estudios donde se demuestre su efectividad a la hora de mejorar propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo. En estos lugares el hidrotenedor no lo aplican solo si no que lo ayudan con la adición de enmiendas orgánicas, micorrizas, fertilizantes y en algunos casos con bacterias. La utilización de éste se debe justificar en términos ambientales y económicos, ya que hay zonas o estrategias donde no es necesaria su aplicación.

Cada estrategia de rehabilitación debe ser escogida de acuerdo a cada zona, ya que no todas presentan las mismas condiciones. Así sucede con la aplicación de un polímero en el suelo, se debe tener en cuenta las características del lugar donde se va a usar.

Se debe tener en cuenta el tipo de suelo o sustrato que está disponible, la topografía y la geoforma del terreno. Los polímeros pueden ser aplicados en todo tipo de suelo, pero no es recomendable usarlos en suelos arcillosos, ya que éstos presentan un alto contenido de humedad y al aplicarle un polímero súper

absorbente lo que se va a generar es que en las raíces de las plantas se generen condiciones de anoxia con la consecuente descomposición de los tejidos.

Algo muy importante al momento de rehabilitar suelos degradados son las especies de plantas y el sistema de siembra, dichas especies deben ser preferiblemente nativas y rústicas para que se adapten más fácil a las condiciones extremas que se presentan en el lugar donde se va a realizar la rehabilitación.

En todos los lugares visitados aplican el polímero con enmiendas orgánicas, micorrizas y bacterias, estos microorganismos son fundamentales en los procesos de rehabilitación y revegetalización ya que actúan como estimulantes de crecimiento vegetal, ayudan a fijar nitrógeno y son solubilizadores de fósforo. La información recolectada en campo indica que al mezclarse éstos, se pueden obtener mejores resultados, ya que funcionan como un coadyudante del polímero.

7. CONCLUSIONES

Una alternativa es el uso de los polímeros en la recuperación de suelos, debido a sus propiedades han sido utilizados desde hace varios años con éxito, mejorando la fertilidad y estructura del suelo.

Uno de los aspectos más importantes al momento de utilizar polímeros es el tipo de suelo con el que se dispone, ya que en un suelo arcilloso no sería conveniente aplicarlo porque se generarían ambientes muy húmedos, afectando el desarrollo radicular de la planta.

Los polímeros mezclados con bacterias podrían dar buenos resultados ya que éstas tienen la capacidad de fijar nitrógeno, ayudar a la estimulación del crecimiento vegetal, son solubilizadoras de fósforo y ayudan en la descomposición de la materia orgánica. Las micorrizas son también una buena alternativa para ser utilizadas con polímeros en el momento de hacer una rehabilitación de suelos ya que favorecen el desarrollo y mantenimiento de la estructura del suelo, control biológico de algunos patógenos y ayuda en la absorción de agua y nutrientes por parte de la planta.

Los polímeros son una gran alternativa ya que permiten retener humedad y nutrientes. Los SAP's (Polímeros Superabsorbentes) son plásticos hidrosolubles que cumplen esta función, puesto que tienen una capacidad de absorción alta, un gramo de SAP puede absorber hasta 1000 gramos de agua, lo que es muy importante para lograr el objetivo de dar estructura y mejorar las condiciones de los suelos degradados.

Se puede concluir que es posible utilizar polímeros para remediar los suelos áridos, degradados por diferentes factores, ya que poseen características (aumenta la capacidad de retención de agua de los suelos y substratos, reduce la frecuencia de riego, disminuye el lixiviado de nutrientes, reduce los costos de riego y fertilización, ayuda al establecimiento de árboles y arbustos y mejora la calidad

de las plantas) que los hacen funcionales en este campo, además de la existencia de microorganismos que también pueden contribuir a este objetivo.

Se debe realizar un estudio muy exhaustivo para encontrar el material adecuado, el cual debe ser hidrofílico, que sea biodegradable, económico y de fácil almacenamiento.

Los biopolímeros son considerados una alternativa potencial a los polímeros químicos debido a su facilidad para biodegradarse, alta eficiencia, no toxicidad y por no generar una contaminación secundaria.

Polímeros como la celulosa, el almidón o los Polihidroxicanoatos, pueden ser implementados en el país, ya que éstos son obtenidos a partir de residuos agroindustriales y Colombia al ser un país con un gran potencial agrícola, puede aprovechar dichos residuos para la producción de dichos polímeros a un bajo costo.

Los polímeros son una gran alternativa para ser utilizados para el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, pero es necesario que se realicen más investigaciones puesto que el problema de la degradación afecta a todas las zonas del mundo, es muy importante realizar estrategias para mitigar la erosión y degradación ya que así se contribuye a que el calentamiento global no avance a grandes pasos.

Estos hidroretenedores son utilizados en el sector agrícola para ayudar a la recuperación de suelos en zonas áridas o semiáridas minimizando las pérdidas de agua y nutrientes debidas a la percolación, la evaporación y al lavado superficial

8. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Como trabajos futuros se plantean los siguientes:

Obtención de un polímero biodegradable en laboratorio que pueda ser utilizado en la rehabilitación de suelos erosionados, para observar cómo es el comportamiento de éste antes de la siembra, sin y con la adición de enmiendas orgánicas, micorrizas, bacterias y fertilizantes, además se puede garantizar que no quede residuo alguno después de su aplicación.

Obtención de un polímero biodegradable a partir de residuos agroindustriales, con esto se reducirían costos y se haría un aprovechamiento de éstos a gran escala.

Implementación de técnicas de disposición final de residuos de polímeros utilizados en rehabilitación de suelos con presencia de metales pesados. Con esto se buscaría disminuir la contaminación del suelo con este tipo de material.

Encapsular bacterias estimulante de crecimiento vegetal y fijadora de nitrógeno en un polímero biodegradable, para así garantizar que mejoren las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo además de ayudar a la planta a que tenga un adecuado desarrollo.

9. RECONOCIMIENTOS

Agradecemos la colaboración a las siguientes personas por habernos brindado información valiosa recopilada en campo:

Néstor Acevedo, Ingeniero Agrónomo, PhD (c), ARGOS

Joe Sánchez, Ingeniero Ambiental, Proyecto Moravia Florece para la Vida

Brayan Duque, Tecnólogo Agroambiental, Generadora Luzma S.A.S.E.S.P.

A nuestra asesora Inés Elvira Osorio Giraldo, por su acompañamiento y apoyo durante este proceso.

REFERENCIAS

Aina, A., Morris, A., Gupta, M., Billa, N., & Madhvani, N. (s.f.). Dissolution behavior of poly vinyl alcohol in water and its effect on the physical morphologies of PLGAscaffolds. Recuperado el 12 de Junio de 2016, de UK Journal of Pharmaceutical and Biosciences: http://www.ukjpb.com/pdf/UKJPB_EditorUKJPB_8_16_1396260375.pdf

Anderson, A., & Dawes, E. (1990). Occurrence, metabolism, metabolic role, and industrial uses of bacterial POLYhydroxyalkanoates. *Microbiol*, 4450-4472.

Asther, S. A. (2016). *Introduction to bioplastics engineering*.

Beltrán, M & Marcilla, A. (s.f.). *ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LOS POLÍMEROS*. Recuperado el 13 de Junio de 2016, de <http://iq.ua.es/TPO/Tema1.pdf>

Brunel, Nidia & Seguel, Oscar. (2011). Efectos de la erosión en las propiedades del suelo. *Agro sur*. Recuperado el 10 de Octubre de 2016, de http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S0304-88022011000100001&script=sci_arttext.

Calil, M., Gaboardi, F., Guedes, C., & Rosa, D. (2006). Comparison of the biodegradation of poly (3-caprolactone), cellulose acetate and their blends by the sturm test and selected cultured fungi. *Polymer testing*, 597.

Ciba. (2016). *Ciba*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de Technical Information Soilfix: <http://www.horticom.com/pd/imagenes/57/837/57837.pdf>

CLIMATE-DATA.ORG. (2016). *Clima: Medellín*. Recuperado el 20 de Octubre de 2016, de <http://es.climate-data.org/location/4088/>

Cothem, V., Lehtonen, H., Rotter, R., & Kahiluoto, M. (1991). Hydrogel devices in agriculture. *Soil technology*.

Chiellini, E., Cinelli, P., Magni, S., Miele, S., & Palla, C. (s.f.). *Fluid Biomulching Based on Poly(vinyl alcohol) and Fillers from Renewable Resources*. Recuperado el 12 de Junio de 2016, de ResearchGate:

https://www.researchgate.net/publication/230497080_Liquid_mulch_based_on_polyvinyl_alcohol_PVA-soil_interaction

Dejhimon, K., & Wada, H. (s.f.). *Improvement of the saline sandy soil in Northeast Thailand*. Recuperado el Abril de 2016, de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ag125e/ag125e08.pdf>

Duque, B. (2016). Proceso de revegetalización. Municipio de Amalfi

(EEA), European Environment Agency. (2002). *Con los pies en la tierra: la degradación del suelo y el desarrollo sostenible en Europa*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2016, de http://www.eea.europa.eu/es/publications/Environmental_issue_series_16/download

(EEA), E. E. (s.f.). *Degradación del suelo*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2016, de <http://www.eea.europa.eu/es/publications/92-828-3351-8/page011.html>

Ekebafé, L. O., Ogbeifun, D. E., & Okieimen, F. E. (s.f.). *Polymer Applications in Agriculture*. Recuperado el 12 de Junio de 2016, de <http://www.bioline.org.br/pdf?bk11011>

El Pulso. (9 de Mayo de 2013). El Pulso. Recuperado el 19 de Noviembre de 2016, de http://www.uchile.cl/documentos/usaran-polimeros-sinteticos-para-incrementar-capacidad-de-almacenar-agua-en-el-suelo-10052013-pdf-1246kb_89416_22.pdf.

Enríquez, M., Velasco, R., & Ortiz, V. (2012). Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 182.

Escuela de Ingeniería, U., Escuela Ciencias de la Salud, U., & Escuela de Medicina, U. (2013). Regeneración de tejidos con PVA y CB. *Revista Colombia de Materiales N°5*, 338-346.

Estrada, R., Lemus, D., Mendoza, D., & Rodríguez, V. (2010). Hidrogeles biopoliméricos potencialmente aplicables en agricultura. *Revista iberoamericana de polímeros*, 76.

FAO. (2015). *Ecología y enseñanza rural*. Recuperado el 2 de Diciembre de 2015, de Tema 2: El suelo: <http://www.fao.org/docrep/006/w1309s/w1309s04.htm>

FAO. (2004). *POLYVINYL ALCOHOL (PVA)*. Recuperado el 13 de Junio de 2016, de <http://www.fao.org/fileadmin/templates/agns/pdf/jecfa/cta/61/PVA.pdf>

FAO. (2016). *Portal de suelos de la FAO*. Recuperado el 8 de Junio de 2016, de Degradación del suelo: <http://www.fao.org/soils-portal/degradacion-del-suelo/es/>

FAO. (2015). *Status of the world's soil resources*. Recuperado el 10 de Octubre de 2016, de <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>

Figuerola, D. (2004). Estrategias de recuperación de suelos degradados. *Revista Horticultora*, 36.

Giraldo, C. A. (Marzo de 2013). *Artículos de Divulgación Científica*. Recuperado el 31 de Octubre de 2015, de La Celulosa Bacteriana: Un mundo de Nanoposibilidades: <http://revistas.upb.edu.co/index.php/universitas/article/view/1582/1538>

Gutiérrez, Sánchez, Cueto, Trucios, Trejo, & Flores. (2008). *Universidad Autónoma Chapingo*. Recuperado el 12 de 11 de 2015, de EFECTO DEL POLIMERO AQUASTOCK® EN LA CAPACIDAD DE RETENCION DE HUMEDAD DEL SUELO Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO DE LA ACELGA (Beta vulgaris var cycla): www.chapingo.mx/revistas/phpscript/download.php?file=completo&id=MTcyNg==

IDEAM;MAVDT. (2012). *Programa de monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos y tierras*. Recuperado el 10 de Octubre de 2016, de Socialización de los avances en la zonificación de línea base de degradación por ersión a nivel nacional: http://www.ideam.gov.co/documents/11769/153422/20121210_Socializacion_avance_erosion.pdf/110fe407-5b10-42a5-913a-43400ed9ae6d

Ilhan, C., Awila, K., Jooyoung, I., Hyun-Dong, S., & Gye-Chun, C. (2015). Soil treatment using microbial biopolymers for anti-desertification purposes. *Geoderma*, 39.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT. (2003). Elementos de diagnóstico y recomendaciones de acción para ser incluidos en el PAN de Colombia - Fase I. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Zonas-Secas/5596_250510_plan_lucha_desertificacion.pdf.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT, (2005). Plan de acción nacional lucha contra la desertificación y la sequía en Colombia Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Zonas-Secas/5596_250510_plan_lucha_desertificacion.pdf.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT. (2012). Programa de monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos y tierras. Recuperado de: http://www.ideam.gov.co/documents/11769/153422/20121210_Socializacion_avance_erosion.pdf/110fe407-5b10-42a5-913a-43400ed9ae6d.

Institutos de Investigación SINA. (11 de Septiembre de 2015). *Informe del estado del medio ambiente y de los recursos naturales renovables 2012,2013 y 2014*. Recuperado el 10 de Octubre de 2016, de Tomo 2: Estado de los ecosistemas y de los servicios ecosistémicos: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023236/IEARN_segunda_parte_ecosistemas_2014.pdf

Jaramillo, D. F. (2014). *EL SUELO: Origen, Propiedades, Espacialidad*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.

Jaramillo, D. (2011). Los suelos de Colombia. En D. Jaramillo, *EL SUELO: Origen, Propiedades, Espacialidad* (págs. 527-541). Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Latifi, N., Rashid, A., Siddiqua, S., Abd, M. (2016). Strength measurement and textural characteristics of tropical residual soil stabilized with liquid polymer. *Measurement*, 46.

Li, X., Ji-Zheng, H., Hughes, J., Yu-Rong, L., & Zheng, Y.-M. (2013). Efectos de los polímeros SAPs en suelo de trigo. 58-63.

Llana, S., & Jay, D. (2003). Process design for microbial plastic factories: metabolic engineering of polyhydroxyalkanoates. *Current Opinion in Biotechnology*, 475-483.

López, J., Huez, M. A., Rueda, O., Jiménez, J., Cruz, F., & Garrido, O. (2013). Uso de un polímero hidrófilo en Chile Anaheim (*Capsicum annum* L.) bajo condiciones de invernadero. *IDESIA*, 77.

Martínez, M., Alcazar, B., & Bribiesca, R. (1998). Elaboración de hidrogeles de ácido poliacrílico: Estudios preliminares de hinchamiento. *Química e industria*.

Meneses, J., Corrales, C., & Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Revista EIA*, 57.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005. PLAN DE ACCIÓN NACIONAL ACIONAL LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN Y LA SEQUÍA EN COLOMBIA ï PAN ï. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Zonas-Secas/5596_250510_plan_lucha_desertificacion.pdf

Morales, C., & Parada, S. (Diciembre de 2005). *Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2016, de http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2448/1/S0500967_es.pdf

More, T., Yadav, J., Yan, S., Tyagi, R., & Surampalli, Y. (2014). Extracellular polymeric substances of bacteria and their potential environmental applications. *Journal of Environmental Management*, 1-5.

Ochoa, S. (Mayo de 2014). *Efecto con diferentes dosis de polímero (acrilato de potasio) en trigo para retención de agua en suelos arcillosos del Valle de Yaqui*. Recuperado el 22 de Noviembre de 2016, de http://biblioteca.itson.mx/dac_new/tesis/853_ochoa_cauticio.pdf

Osorio, M., Ortíz, I., Caro, G., Restrepo, L. M., Martínez, L., Agudelo, C., y otros. (2013). *Revista Colombiana de Materiales*. Recuperado el 8 de Noviembre de 2015, de Matrices de Nanocompuestos de Alcohol de Polivinilo (PVA)/ Celulosa Bacteriana (CB) Para el Crecimiento celular y la Regeneración de Tejidos : <https://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/materiales/article/viewFile/19620/16678>

Osorio, N. W. (2014). Capítulo 4, Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad de nutrientes. En N. W. Osorio, *Manejo de nutrientes en suelos del Trópico* (págs. 83-109). Editorial L. Vieco S.A.S.

Otero, I., & Fernández, P. (2013). Bioprospección de bacterias productoras de Polihidroxicanoatos (PHA's) en el Departamento de Nariño. *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 12.

Otero, J., Sánchez, R., Ojeda, E., Álvarez, C., Gómez, C., Carrillo, H., y otros. (2010). *Protocolo para la identificación y evaluación de los procesos de*

degradación de suelos y tierras por erosión. Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de http://www.ideam.gov.co/documents/11769/241818/20120814_Protocolo_erosion.pdf/

Pla Sentis, Ildelfonso. 2015. Problemas de degradación de suelos en el mundo: Causas y consecuencias. Recuperado el 10 de Octubre de 2016, de: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/1.-Problemas-de-Degradacion.pdf>

Qu, G., Varennes, A. (2010). Use of hydrophilic polymers from diapers to aid the establishment of *Spergularia purpurea* in a mine soil. *Journal of Hazardous Materials*. 956.

Proyecto Checua.2000.Cultivar sin arar: labranza mínima y siembra directa en los Andes. CAR-KFW-GTZ, Colombia. 146.

Rehim, B. (2007). Biogenesis of microbial polyhydroxyalkanoate granules: a platform technology for the production of tailor made bioparticules. *Curr. Issues MOL*, 41-42.

Rodrigues, T., De Oliveira, C., Cardoso, V., Ubirajara, C., & Vieira, P. (2016). Biopolymer production using fungus *Mucor racemosus* Fresenius and glycerol as substrate. *Scientific-Technical*, 144.

Roldán, A., Albaladejo, J & Thornes, J. (1996a). Aggregate stability changes in a semiarid soil after treatment with different organic amendments. *Arid Soil REsearch and Rehabilitation*, 15(10), 139-148.

Romero, M., Wolfel, A., Alvarez, C. (2016). Smart valve: Polymer actuator to moisture soil control. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 53.

Rudnik, E., & Briassoulis, D. (2011). Comparative biodegradation in soil behaviour of two biodegradable polymers based on renewable resources. *J.Polym Environ*, 18.

Ruiz, G., Montoya, C., & Paniagua, M. (2009). Degradabilidad de un polímero de almidón de yuca. *Revista EIA*, 67.

Schropfer, S., Karpinski, M., Bianchin, L., Robinson, L., De Lima, V., Dalosto, V., y otros. (2015). Biodegradation evaluation of bacterial cellulose, vegetable cellulose and poly (3-hydroxybutyrate) in soil. *Scientific- Technical*, 154.

Seybold, C. A. (1994). Polyacrylamide review: soil conditioning and environmental fate. *Communsoil-sci-plant-anal* .25:2171-2185.

Souza, A., Guimaraes, J., Domingueti, A., Scalco, M., & Rezende, T. (2014). Water-retaining polymer and seedling type when planting irrigated coffee. *Ciencia Agronómica*, 334.

Suárez, J. (2001). *Control de la erosión en zonas tropicales*. Bucaramanga: División editorial y de publicaciones Universidad Industrial de Santander.

Tittonel, P., De Grazia, J., & Chiesa, A. (2002). Adición de polímeros superabsorbentes en el medio de crecimiento para la producción de plántulas de pimiento. *Horticultura Brasileira, Brasília*, 641.

Tohidi, H. (2016). Application of super absorbent polymer and ascorbic acid to mitigate deleterious effects of cadmium in wheat. *Pesq.Agropec.Trop*, 9.

Tomei, C., Mosca, D., Annesini, M. (2013). Ex situ of polluted soils by absorptive polymers and a comparison of slurry and two-phase partitioning bioreactors for ultimate contaminant degradation. *Journal of Hazardous Materials*. 31.

Tumzavas, Z., & Tumzavas, F. (April de 2011). *The effect of polyvinyl alcohol (PVA) application on runoff, soil loss and drainage water*. Recuperado el 24 de Marzo de 2016, de http://world-food.net/download/journals/2011-issue_2/e59.pdf

UNAD, Universidad Nacional a Distancia. (2016). Lección 3: Clases taxonómicas de suelo y susceptibilidad a la degradación. Recuperado el 22 de Noviembre de 2016, de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30160/leccin_3_clases_taxonmicas_de_suelo_y_susceptibilidad_a_la_degradacin.html

UNAD, Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (2016). LECCIÓN 5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS. Recuperado el 22 de Noviembre de 2016, de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358013/ContenidoEnLinea/leccin_5_clasificacin_de_suelos.html

UNAL. (2016). *Concepto de Erosión*. Recuperado el 01 de 05 de 2016, de http://www.unalmed.edu.co/~poboyca/documentos/documentos1/documentos-Juan%20Diego/Plnaifi_Cuencas_Pregado/cap%201%20y%202%20libro%20erosion.pdf.

UNAL (2016). La erosión de suelos. Recuperado de http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/lecciones/lect8/lect8_2.html

Valapril, P., Boccaccini, R., Bucke, C., & Roy, I. (2007). Polyhydroxyalkanoates in gram positive bacteria: insights from the genera *Bacillus* and *Streptomyces*. *Antonie van Leeuwenhoek*, 91, 1-17.

Valero, M., Ortigón, Y., & Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros: Avances y Perspectivas. *Dyna*, año 80, Nro. 181, 171-180.

Wheeler, O., Lavin, E., & Crozier, R. (1952). Poly (vinyl acetate) and its derivatives. 371.

Wiacek, A. E. (2015). Effect of surface modification on starch biopolymer wettability. *Food Hydrocolloids*, 229.

Xi, L., He, J.-Z., Jane M, H., Liu, Y.-R., & Yuan-Ming, Z. (2013). Efectos de los polímeros SAPs en suelo de trigo. *Elsevier*, 58-63.