

NOVA REVISTA

DICIEMBRE 2015

Volumen 1 Número 1

ISSN 2500 - 4476



Centro de Desarrollo
Agroempresarial
y Turístico del Huila

La Plata



SENNOVA

NOVA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN





Revista NOVA Vol. 1, No 1, Diciembre de 2015



Revista NOVA
ISSN: 2500 - 4476
Periodicidad: Anual
Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)
Centro de Desarrollo Agroempresarial y Turístico del Huila

Cr7 N° 5-68, La Plata, Huila, Colombia.
Teléfono: (8) 8370987 Ext 83737
galvira@sena.edu.co
hcoronado@sena.edu.co

REVISTA NOVA
Grupo de investigación

Guillermo Alvira Vargas
Director

Heimar Hernán Coronado Hernández
Líder Sennova

César Leandro Zamora Pérez
Heimar Hernán Coronado Hernández
Carlos Alberto Yaime Ardila
William Orlando Triana Perdomo
Comité editorial

Claudia Constanza Suárez Botia
Adriana Carolina Villada Ramírez
Traducción

Gilberto Murcia Ramos
Equipo de Apoyo

William Orlando Triana Perdomo
Diseño y Diagramación
Fotografías Portada

**SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE
SENA**

Alfonso Prada Gil
Director General del SENA

Emilio Eliecer Navia Zuñiga
**Coordinador Grupo de Investigación, Innovación y
Producción Académica - Dirección General**

Luis Alberto Tamayo Manrique
Director Regional - SENA Huila

Guillermo Alvira Vargas
**Subdirector Centro de Desarrollo
Agroempresarial y Turístico del Huila**

Napoleón Barragán Clavijo
**Coordinador Académico Centro de Desarrollo
Agroempresarial y Turístico del Huila**

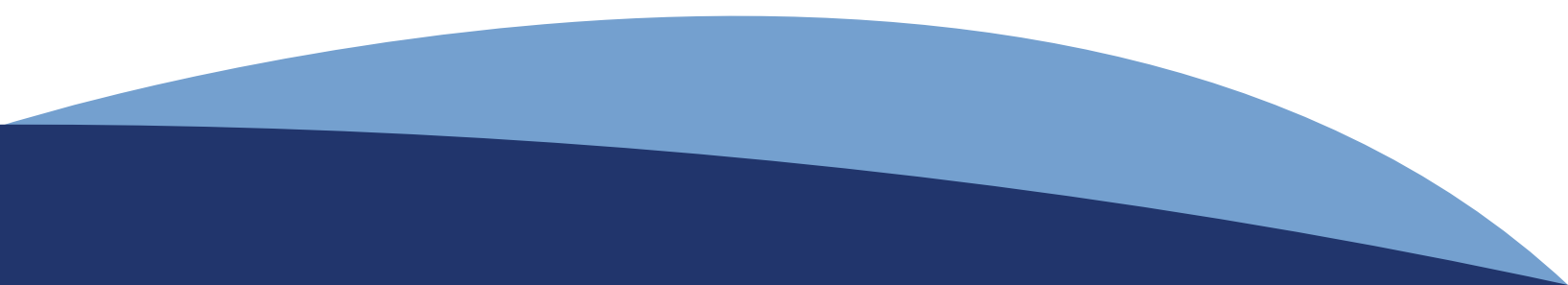
Belén Borrero Durán
Paula Constanza Manrique Ramírez
Asesoras SENNOVA - Dirección General



"Es el verdadero arte del maestro despertar la alegría por el trabajo y el conocimiento"

Albert Einstein

Distribución gratuita
Tiraje: 1000 ejemplares
Diciembre 2015





Grupo de Investigación NOVA

MISIÓN

El Grupo de investigación Nova dinamiza proyectos de Investigación, Desarrollo tecnológico e Innovación con el propósito de generar conocimiento en beneficio de la comunidad y el sector productivo en el Sena La Plata Huila y su área de influencia.

VISIÓN

Nova para el año 2020 será líder en el desarrollo de proyectos de Investigación, Desarrollo tecnológico e Innovación aportando a la calidad de la formación profesional integral y el sector productivo, mediante alianzas estratégicas con empresas y el sector académico, siendo referente de investigación científica en el departamento Huila.

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El Grupo de investigación NOVA presenta tres líneas de investigación:

1. Desarrollo tecnológico e innovación industrial
2. Desarrollo ambiental y agropecuario
3. Emprendimiento y gestión empresarial

MISSION

The research group NOVA supports Research, Technological Development and Innovation projects, aiming to generate knowledge that benefits the community and the productive sector in La Plata-Huila and its area of influence.

VISION

For the year 2020, NOVA will be the leader in the development of Research, Technological Development and Innovation projects, contributing to the quality of the comprehensive vocational training, as well as to the productive sector , throughout strategic alliances with companies and academic sector, being the reference point of scientific investigation in Huila Department

RESEARCH AREAS

NOVA has three different research areas

1. Technological Development and industrial innovation
2. Environmental and agricultural development
3. Entrepreneurship and business management

TABLA DE CONTENIDO

Volumen 1 Número 1 Diciembre 2015 ISSN 2500 - 4476

EDITORIAL	6
 Identificación y descripción de las zonas erosionadas sobre la vía Neiva – Palermo en el departamento del Huila.....	8
Daniel Rodríguez Acosta, Edison Trujillo Pajoy	
 Reprogramación de una red neuronal biológica como línea base para la programación multifuncional de redes neuronales artificiales.....	20
Daniel Rodríguez Acosta	
 Diversidad de hormigas cortadoras de hojas en tres usos de suelo en la vereda El Cabuyal del Municipio de La Plata, Huila.....	38
Cristhian Oswaldo Alvarado Alvira, Daniel Rodríguez Acosta	
 Simulación y modelación de la producción de sedimentos en dos escenarios dominantes de ocupación de suelo en la cuenca hidrográfica del río Coello.....	48
Mairalejandra Ramírez Cuenca, Daniel Rodríguez Acosta	
 Tratamientos Para La Remoción De Cromo (Vi) Presente En Aguas Residuales.....	66
Oscar Fabián Artunduaga Cuellar	
 Remoción de Cromo Hexavalente utilizando Cáscara de Moringa Oleífera como bio-adsorbente.....	74
Leidy Andrea Losada Galindo, Mayra Alexandra Sotto, Oscar Fabián Artunduaga	
 Sistema de información para el control de procesos en la producción, poscosecha y análisis sensorial de café especial.....	88
Heimar Hernán Coronado Hernández	
 Parámetros para publicar en la Revista Nova	96

EDITORIAL

**GUILLERMO ALVIRA VARGAS**

Subdirector Centro de Desarrollo Agroempresarial y Turístico del Huila

El SENA como institución líder en Colombia de la formación para el trabajo desde el año 1957, y con su acertada presencia en los cuatro puntos cardinales de este país, se ha convertido en una fuente de conocimiento permanente que apoya los procesos de mejora continua para que la competitividad de la regiones y del país sea el trampolín para generar espacios de desarrollo y mejora de la calidad de vida de los colombianos.

El alcance y la disponibilidad de herramientas que facilitan obtener el conocimiento, están hoy apoyados por la facilidad de acceder a la información mediante la utilización de herramientas como las TIC, un espacio que hasta hace algunos años creíamos inalcanzables. Hoy, gracias a políticas de estado y en especial a las de la institución, estas tecnologías están a la mano de toda la comunidad educativa del SENA, para que no solo seamos los mejores técnicamente, sino también para disminuir la brecha tecnológica mediante la implementación de la estrategia SENNOVA.

El Centro de Desarrollo Agroempresarial y Turístico del Huila ha venido implementando acciones que permiten articular actividades de ajuste, validación, transferencia e innovación de tecnología como eje dinamizador en los programas de formación; lo que ha llevado a los resultados que se presentan en esta revista.

Justo aquí vale la pena resaltar el apoyo del equipo de trabajo del

Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, con el cual empezamos a dar nuestros primeros pasos por el camino de la investigación.

Finalmente, lo importante de resaltar en estos trabajos es que están asociados a actividades de investigación que se relacionan con las apuestas productivas de la agenda interna del departamento del Huila. De manera que la aplicación de equipos y tecnología de la que disponemos en el SENA, nos permite presentar resultados al servicio del sector productivo; logros que se han obtenidos en dos años de presencia del grupo de investigación NOVA en nuestro centro de formación.

Identificación y descripción de las zonas erosionadas sobre la vía Neiva – Palermo en el departamento del Huila

Identification and description of the eroded areas on the route Neiva - Palermo in the department of Huila.

Daniel Rodríguez Acosta¹
Edison Trujillo Pajoy²

Resumen

La degradación de zonas en Colombia es muy preocupante ya que genera pérdida de la sostenibilidad biológica de los ecosistemas, limitando el crecimiento de la vegetación y afectando el ciclo hidrológico. El departamento del Huila no escapa a esta situación, siendo la erosión hídrica la principal amenaza para la conservación del suelo y agua en las montañas, específicamente en el municipio de Palermo. Esto motivó la realización de una serie de estudios para identificar y diagnosticar las zonas de mayor degradación, de tal forma que se pudiera contar con información relevante y, con ello, generar el punto de partida para abordar la problemática ambiental de estas zonas de forma sistémica. La realización de este documento inició con una revisión de literatura primaria y secundaria, acompañado de un profesional experto en geología de la región; Luego se tomaron muestras de los minerales y rocas de la zona y se analizaron en el laboratorio de geología de la Universidad Surcolombiana. Culminada esta etapa, se unificaron las planchas y se realizó el mapa geológico del municipio de Palermo y su área de influencia con la ayuda del software ArcGIS. Posteriormente, se dio inicio a la fase de campo en la cual se evaluaron 14 estaciones y se diagnosticó cada sitio. Esta labor arrojó información confiable para abordar los impactos ambientales negativos asociados a la erosión y sus detonadores en el municipio de estudio.

Palabras clave: Geología, Procesos de erosión, impacto ambiental, sostenibilidad, conservación del suelo.

¹ Colombiano, Ingeniero Forestal, Candidato a Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental; Especialista Técnico, en Bioinsumos y extractos vegetales, Instructor Servicio Nacional de aprendizaje (SENA), La Plata, danielroaco@misena.edu.co, Tel 57 – 8-370987

² Colombiano, Ingeniero Forestal, Candidato a Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental, Especialista en Gerencia de Proyectos, Coordinador de Proyectos EIA TEC SAS, Neiva, edisontrujillo@gamil.com, Cel: 3163574490

Abstract

Several areas in Colombia are being devastated causing a loss in biological sustainability of the ecosystems, at the same time that limit plant growth and affect the hydrological cycle. Huila region is no exception to this situation, being water erosion the main threat to the conservation of soil and water in the mountains, specifically in the town of Palermo. A series of studies let identify and diagnose areas of further degradation, in order to collect relevant information in order to systemically address the environmental problem of the area. This work was carried out starting with a review of primary and secondary literature, with support of a professional expert in geology of the region, then it proceeded to the identification of minerals and rocks in the laboratory of geology at Sur Colombiana University, sheets were unified to create a cartographic geological of Palermo and its area of influence. Maps were generated using the ArcGIS software, finally in the fieldwork phase 14 stations were evaluated and diagnosed, generating reliable information to address the negative environmental impacts associated with erosion and detonators in the town of Palermo.

Keywords: Geology, erosion processes, mass movements, use and management of soil, environmental impact.

1. Introducción

Las proyecciones mundiales sobre el fenómeno erosivo son preocupantes: se calcula que, con el actual ritmo de degradación de suelos, la superficie cultivable del planeta pasará de los 1.500 millones de hectáreas que se tenían en 1.975 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 (Myers & Durrell, 1999).

En 1988 el Instituto Geográfico Agustín Codazzi expresó que la pérdida de suelos en Colombia estaba entre 170.000 y 200.000 hectáreas anuales. El 60% de las 56.000.000 de hectáreas afectadas por erosión, se encontraba en la región andina. En el presente estas cifras han aumentado de manera significativa en el Huila. La erosión hídrica es la principal amenaza para la conservación de suelo y agua en las montañas del departamento del Huila, debido en gran medida al inadecuado uso y manejo del suelo, a las fallas geológicas en la región y a las unidades que lo conforman, lo que genera que los movimientos de masas sean comunes en pendientes pronunciadas, originando deslizamientos, derrumbes, golpes de cuchara, surcos, cárcavas y con ello la pérdida y degradación del suelo. Todo esto impacta de manera negativa la productividad ambiental, agrícola y forestal del municipio de Palermo.

Siendo la erosión del suelo un problema ambiental crítico en este municipio del norte del Huila, se hace necesario realizar investigaciones que ayuden a identificar y diagnosticar las zonas de erosión relevantes, de tal forma que estas se puedan clasificar y, con ello, se dé el punto de partida para abordar la situación ambiental que afecta el suelo, la flora y el agua en esta población.

Para realizar este trabajo se hizo un análisis de literatura primaria y secundaria con el acompañamiento de un profesional experto en geología de la región; por tanto, se evaluaron los antecedentes de la zona y los trabajos realizados por profesionales interdisciplinarios en el área objeto de estudio.

Después del análisis de esta información y la asesoría constante del geólogo, se pasó a la fase de laboratorio en la cual se identificaron los



minerales y las rocas antes de salir a campo. Esto, con el fin de garantizar la eficiencia en el trabajo de campo. Culminada esta etapa, se unificaron las planchas y se realizó el mapa geológico del municipio de Palermo y su área de influencia. Es decir que se generó un solo mapa guía para ubicar las diferentes estaciones del recorrido por la vía Neiva – Palermo.

De esta forma se dio inicio a la fase de campo, donde se evalúan 14 estaciones, y se procede a su ubicación geográfica, determinando las unidades de suelo, minerales y rocas, impactos asociados, riesgos, vulnerabilidad, fallas geológicas, vegetación asociada, tipo de erosión, perfiles y lo que se consideró de relevancia para poder describir la estación.

Además de identificar las zonas degradadas en Palermo, este trabajo también hace una estimación inicial de la flora asociada a cada sitio, de tal forma que los programas de restauración puedan ser efectivos al utilizar la vegetación nativa y no se contribuya a aumentar los problemas con la introducción de especies exóticas.

Con este estudio se pretende dar inicio a la zonificación de zonas degradadas principalmente por erosión, teniendo en cuenta información sistémica de las variables que interactúan en cada impacto, como el material rocoso, el origen del suelo, las características físicas y químicas de cada unidad, la interacción con la topografía y el clima, la forma de explotación, las fallas geológicas, las pendientes y demás variables que interfieren en la dinámica de la erosión de suelos; de tal manera que un buen diagnóstico permita determinar las soluciones más adecuadas a cada estación estudiado.

Metodología

Para identificar las zonas degradadas asociadas

a riesgos a nivel geológico y ambiental en diferentes puntos de las vías de Palermo, se planteó una metodología en fases.

Fase 1: Acoplamiento de información geológica. En esta fase se cuenta con un profesional en geología con amplia experiencia certificada en el departamento del Huila: se trata de Roberto Vargas Cuervo, quien se encarga de socializar la información primaria de geología; aquí realiza un análisis de la geodinámica interna y la geodinámica externa en la región, de tal forma que se acopla el conocimiento con bases de geología en el área ambiental. En esta fase se consultan artículos científicos, libros y documentos que facilitan el diagnóstico de los impactos analizados en el municipio de Palermo.

Fase 2: Identificación de minerales y rocas. En esta fase se contó con el laboratorio y el museo de geología de la Universidad Surcolombiana. Se profundizó en las unidades del departamento del Huila, determinando la clase, el origen, disposición, utilidad, formación entre otras variables que facilitan el entendimiento de la unidad geológica y el reconocimiento de las rocas.

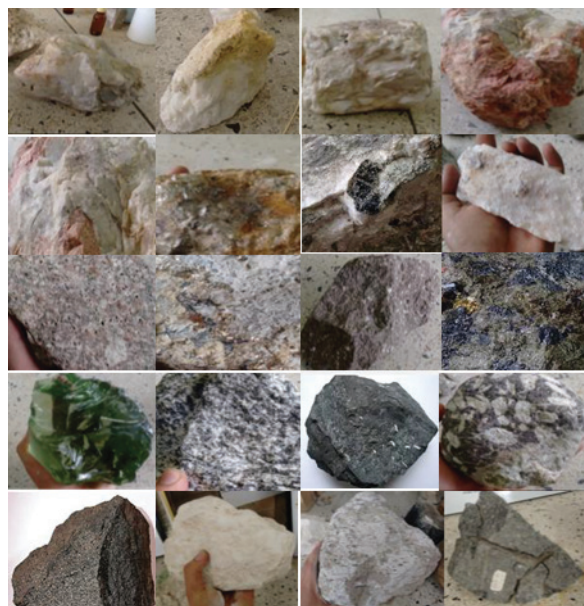


Figura 1. Identificación de algunos minerales y rocas (Laboratorio de geología, USCO).



Figura 2: Mapa geológico Neiva - Palermo

Fuente: Tomado plancha número 323 de Ingeominas; elaborado por Roberto Vargas.

Fase 3: Unificación de planchas cartográficas con el fin de trabajar de manera efectiva e integral las zonas de estudio en campo, se procedió a ubicar en un solo mapa la plancha cartográfica 323, en relación con el mapa geológico del área a estudiar (Figura 2). Se utilizó el Software ArcGIS, de tal forma que los mapas se pudieran fusionar a una misma escala para obtener los atributos deseados.

Fase 4: Identificación de impactos ambientales: en esta fase se identificaron los

impactos ambientales negativos desde el punto de vista geológico, ambiental y forestal de la zona. Todo el estudio se desarrolló sobre la vía entre Neiva y Palermo, teniendo en cuenta las fuentes hídricas. De esta manera se realizó un análisis de 14 estaciones. En cada una de ellas se determine la unidad de suelos, los tipos de minerales o roca, las coordenadas planas, el tipo de impacto, las fallas geológicas, la vulnerabilidad y los riesgos del sitio; todo esto para generar la respectiva zonificación. Cada estación fue ubicada dentro del mapa que se

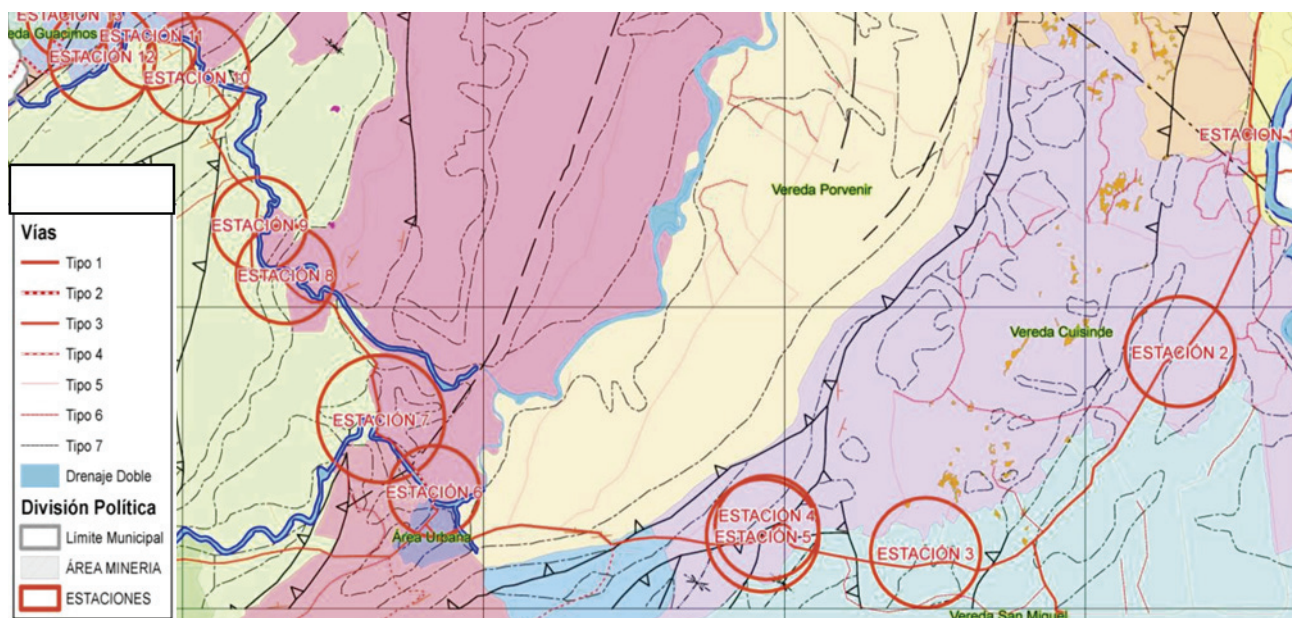


Figura 3. Mapa geológico, vías y estaciones; **Fuente:** plancha 323 Ingeominas, ajustada a la geología de Neiva y Palermo, Por Trujillo Edison.

generó en la fase 3, comprobando de manera técnica las unidades del mapa con lo que se observe en campo. Además se realizó una identificación particular de las especies forestales que se encontraban en las diferentes estaciones.

3. Resultados

A continuación se presenta las estaciones donde se identificaron las zonas degradadas del municipio de Palermo, con la respectiva descripción del sitio.

Estación 1. El sitio se ubica en las coordenadas Este: 862 721; Norte: 817 884, a una altura de 465 msnm. Se identifican depósitos aluviales con depósitos piroclásticos, (figura 4). Hay presencia de arena volcánica y ceniza volcánica, se encuentran xilópalos en un excelente estado de conservación que quedan expuestos por la erosión. La formación que predomina es gigante, no hay plegamientos, debido a que no ha sufrido orogenia, se aprecian rocas sedimentarias en su mayoría conglomerados. La Vegetación circundante es dominada por Payande (*Pithecellobium dulce*), Matarratón (*Gliricidia sepium*), Pela (*Vachellia farnesiana*), Guácimo (*Guazuma ulmifolia*), Mosquero (*Croton leptostachyus* Kunth) y pastos. El área se zonifica como una caldera de Actividad minera donde prevalece la erosión hídrica.



Figura 4. Zona degradada estación 1.

Estación 2. Esta zona se ubica en las coordenadas Este: 861 574; Norte: 814 264, a una altura de 466 msnm. Allí prevalecen la erosión y colinas hondonadas; el sector corresponde a una formación honda; también hay presencia de áreas plegadas conformadas por depósitos aluviales, y las rocas que predominan son conglomerados y areniscas. La zona carece de vegetación debido a la sequía; sin embargo, se observan especies de flora como Payandé (*Pithecellobium dulce*) y Pela (*Vachellia farnesiana*). En la estación se evidencia una falla geológica, donde el cambio de pendiente indica el cambio de formación. Encima de la formación honda, se encuentra la formación gigante. Se presenta caída de bloques y también fenómenos de solifluxión. Además, el agua ha generado canales, lo cual ha incidido en la pérdida constante suelo. Se zonifica como remociones en masa con dominio de erosión hídrica y presencia de material particulado. (V. (Figura 5)



Figura 5. Zona degradada estación 2

Estación 3. El lugar está ubicado a una altura de 503 msnm y presenta las siguientes coordenadas: Este: 857 364; Norte: 810 926. En esta zona se atraviesa la formación Honda, (depósitos de conglomerados areniscas y arcillas). Existe vegetación dominante como el guácimo (*Guazuma ulmifolia*), mosquero (*Croton leptostachyus* Kunth) y Payandé (*Pithecellobium dulce*). Se observa contaminación por residuos sólidos en grandes cantidades y quemadas provocadas en el área. Además, existe una falla geológica inversa (bache) y predomina la erosión. Uno de los impactos ambientales de mayor

significancia negativa que hay en la zona, es el camino carretable que se hizo para poder entrar a una torre de perforación y material de obras en el pasado. Se zonifica como derrumbes debido a las pendientes, la falla bache y las condiciones de sitio, con predominio de erosión hídrica y contaminación por residuos sólidos.



Figura 6. Zona degradada estación 3

Estación 4. La zona se ubica en las coordenadas (Este: 854 707; Norte: 811 344) con una altura de 610 msnm. Se evidencia un fenómeno de remoción en masa característico de un deslizamiento traslacional, se ubica sobre la formación

Monserrate, en la parte alta se observan las areniscas. En el cambio de pendiente, se ubican las

limolitas, lodolitas arcillolitas, donde el contacto geológico con dos unidades litológicas de rocas competentes y rocas incompetentes genera una superficie de fricción que provoca los derrumbes, se ha hecho una inversión significativamente alta con resultados negativos. La vegetación dominante en el área es balso, (Ochroma pyramidale) Saman (Samanea saman), Payande (Pithecellobium dulce), Matarratón (Gliricidia sepium), yarumo (Cecropia peltata) y pastos. Se determina la zonificación como fenómenos de remoción en masa.

Estación 5. Se ubica en las coordenadas Este: 854 640; Norte: 811 212, presentando una Altura de 628 msnm, sobre sale el valle del Magdalena con la formación Honda, el límite de la pendiente es la



Figura 7. Zona degradada estación 4.

falla geológica de Bache, donde prevalece la erosión hídrica, hay presencia de derrumbes y riesgo sísmico por falla activa. En esta zona la vegetación es muy diversa en donde sobresale, Payande (*Pithecellobium dulce*), Matarratón (*Gliricidia sepium*), Pela (*Vachellia farnesiana*), Guácimo (*Guazuma ulmifolia*), Mosquero (*Croton leptostachyus* Kunth), Balso (*Ochroma pyramidale*), Yarumo (*Cecropia peltata*), pastos, palmas, helechos. La zonificación se determina como Erosión hídrica fuerte que genera Remoción en masa, (golpe de cuchara).



Figura 8. Zona degradada estación 5

Estación 6. desde el sitio de avistamiento se presenta las siguientes coordenadas Este: 849 178; Norte: 811 748, la Altura del sitio es 569 msnm, el punto es el Cauce del río Tune, municipio de Palermo, el régimen del río es de aguas normales, con esporádicas avenidas torrenciales, por represamientos y derrumbes, aguas arriba. Las avalanchas se han originado por taponamientos en las zonas altas, prevalece la contaminación hídrica, por

residuos sólidos, y aguas negras, los impactos por consumo de agua son masivos debido a la extracción por riego. El río está en un estado de degradación alta. Hay presencia de peces, principalmente tilapia roja, que han sobrevivido al deterioro del río pero que por la explotación de la minería pueden presentar mercurio residual en el organismo. Se evidencian afloramiento de arcillas (formación guaduala). La flora que se observa en las márgenes del río, son caucho, guamo rabo de mico (*Inga Edulis*), bilibill (*Guarea trichilioides*), Dinde (*Chlorophora tinctoria*), Payande

(*Pithecellobium dulce*) y arbustos. La zonificación que se determina, es de riesgo por inundaciones debido a represamiento en la parte alta, problemas de contaminación por explotación minera de oro a base de mercurio y material de arrastre.

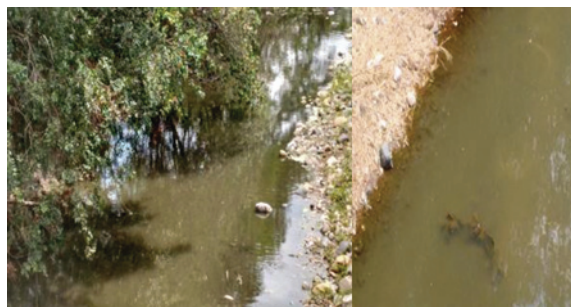


Figura 9. Zona degradada estación 6

Estación 7. Las coordenadas del punto son Este: 848 296; Norte: 813 148 con una altura del sitio de 573 msnm, en donde se ubica la Formación

Guaduala, hay presencia de arcillolitas con areniscas. Prevalecen depósitos recientes de coluviones, predominio de procesos erosivos, donde se evidencia los surcos y las cárcavas, presentando fenómenos de remoción en masa. La flora observable se encuentra bastante deteriorada por la sequía, siendo visible el Payande (*Pithecellobium dulce*), el totumo (*Crescentia cujete*) y mosquero (*Croton leptostachyus* Kunth). Se determina la zonificación por la existencia de remoción en

masa, con presencia de surcos y cárcavas dominado por la erosión hídrica.



Figura 10. Zona degradada estación 7

Estación 8. las coordenadas del punto de avistamiento son Este: 846 710; Norte: 815 545, en este sitio la Altura es de 606 msnm, formación del paleoceno - eoceno, los depósitos son barras de canal, conglomerados ricos en sílice, (shert, cuarzo, ágata jade). El área está expuesta a riesgos geológicos por caídas de bloques, ocasionando taponamientos y represamientos. La flora asociada al sitio, es saman (*Samanea saman*), Payande (*Pithecellobium dulce*), mosquero (*Croton leptostachyus* Kunth), Igua (*Pseudosamanea Guachapele*) y algunas gramíneas.

La zonificación que se determina es remoción en masa con riesgo por caída de bloques.



Figura 11. Zona degradada estación 8

Estación 9. las coordenadas del punto de avistamiento del impacto son Este: 846 278; Norte: 816 377, a una Altura del sitio de 632 msnm, se encuentra en la zona el miembro bache, lutitico blando, (Arcilla, lodolitas, limolitas con algunos niveles de conglomerados). Se

evidencia la presencia de remociones en masa por la erosión de sobre pastoreo (ganado), identificando muchos golpes de cuchara. La flora circundante, se caracteriza en número por Saman (Samanea Saman), Payande (Pithecellobium dulce), mosquero (Croton leptostachyus Kunth), Pela (Vachellia Farnesiana), Yarumo (Cecropia Sp). La zonificación se hace por la carretera con la identificación de remociones en masa, erosión laminar, surcos y cárcavas que Generan golpes de cuchara.

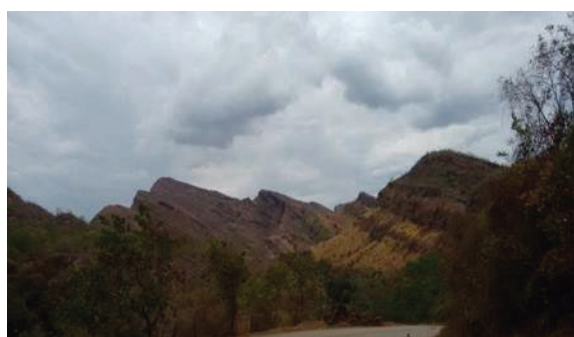


Figura 12. Zona degradada estación 9

Estación 10. el sitio se ubica en las coordenadas (Este: 845 230; Norte: 818 932) a una Altura de 690 msnm, con la formación gualanday - bache en contacto con Tesalia. Existe una contaminación severa por basuras, y un impacto ambiental crítico por la contaminación por bandas de asbesto, que se disponen en el suelo cual si este fuera un basurero a cielo abierto. La vegetación en este sitio es limitada debido a la sequía y al uso inadecuado de los suelos, en cuanto a flora se observan cactus, arbustos y pastos secos. Se evidencia la presencia de la especie Saman (Samanea saman) en estado latizal, la zonificación del sitio se determina como Fenómenos de remoción en masa con presencia de contaminación antrópica alta por residuos peligrosos.

Estación 11. el punto de avistamiento del impacto se ubica en las coordenadas (Este: 844 484; Norte: 819 390) a una Altura de 702 msnm, donde se evidencia un Derrumbe rotacional, activo, el detonante es el contacto de la

formación bache (incompetente) con la formación tesalia (competente). Se presentan riesgos en el sistema ambiental, debido a que los bloques pueden caer al río bache generando un proceso de represamiento. La flora que se encuentra en la estación de estudio es representada por las especies: saman (Samanea saman), ceiba (Ceiba Pentandra), Yarumo (Cecropia peltata), balso (Ochroma pyramidale), Helecho arbóreo (Cyathea arborea) y arbustos. La zonificación que se determina es Remoción en Masa con caída de bloques.

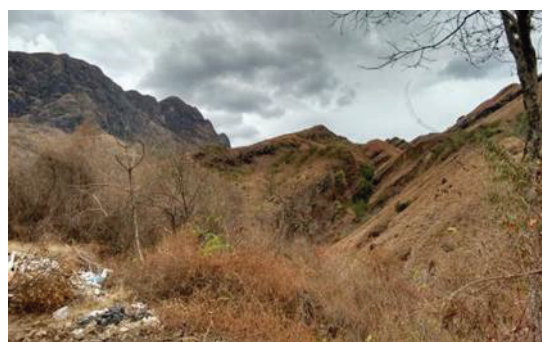


Figura 13. Zona degradada estación 10



Figura 14. Zona degradada estación 11

Estación 12. el sitio se ubica en las coordenadas (Este: 843 661; Norte: 811 973) a una altura de 771 msnm, con presencia de la formación potrerrillo, y pendientes pronunciadas que superan los 70°, se evidencia Caída de bloques, al río bache, que pueden causar taponamientos. Evidenciándose la necesidad de estabilizar el talud. El área se encuentra bastante erosionada, con perdida alta de suelo y

vegetación, se observa una vegetación remanente entre las rocas, poco significativa. La Zonificación que se le da a la estación es Remoción en Masa por pendientes altas y erosión hídrica.



Figura 15. Zona degradada estación 12

Estación 13. el punto de avistamiento del sitio degradado se ubica en las coordenadas (Este: 843 119; Norte: 819 815) a una Altura de 985 msnm, se establece que la falla chusma pone en contacto toda la cobertura sedimentaria con el batolito de Ibagué. Siendo esta falla chusma Teruel, inversa y activa, con un grado mayor a riesgo sísmico en el departamento del Huila, colocando en contacto la cordillera central con la cobertura del valle del magdalena. Generando riesgo sísmico. En la zona se pueden observar rocas ígneas intrusivas. (Basalto, cuarzodiorita) siendo una fuente primaria de metales. El suelo es fértil pero persiste la erosión antrópica por sobre pastoreo. La vegetación dominante son pastos, y arbustos, encontrándose algunas especies arbóreas como saman (Samanea saman), ceiba (Ceiba pentandra), Yarumo (cecropia peltata), balso (Ochroma pyramidale) y Sangregado, (Croton funcianus). La Zonificación de este sitio se hace sobre Riesgo Sísmico debido a la Falla Chusma.

Estación 14. la zona degradada se ubica en las coordenadas (Este: 841 938; Norte: 821 887) a una Altura de 1253 msnm, donde prevalece la explotación minera de calcita, con presencia de mármol, debido a las condiciones geológicas de formación de la unidad. Evidenciándose riesgo sísmico, por la presencia de falla. Y generándose

fenómenos de remoción puntuales, debido a la explotación minera que genera inestabilidad en las laderas. La flora es mínima en este sitio debido a la explotación a cielo abierto, evidenciándose notables impactos visuales negativos, la Zonificación para este sitio es actividad minera, con riesgo sísmico por Falla la chusma. Y remociones Puntuales por la explotación minera de calcita.



Figura 16. Zona degradada estación 13



Figura 17. Zona degradada estación 14

En la figura 18, se muestra las 14 estaciones estudiadas en campo sobre la vía Neiva Palermo, representadas por círculos y ubicadas teniendo en cuenta las coordenadas geográficas y características establecidas en campo, a cada una de ellas se les asigno un color, de acuerdo a los procesos de mayor ocurrencia, en donde el fenómeno más representativo es la remoción en masa, y el detonador la erosión hídrica. la clasificación básica que se representa en el mapa como zonificación para estos sitios son: Remoción en masa (RM); Erosión hídrica (EH); Actividad minera (AM); Riesgo Sísmico (RS); Inundación (IN); surcos y cárcavas (SC); golpe

de cuchara (GP); contaminación hídrica (CH);
contaminación residual (CR).

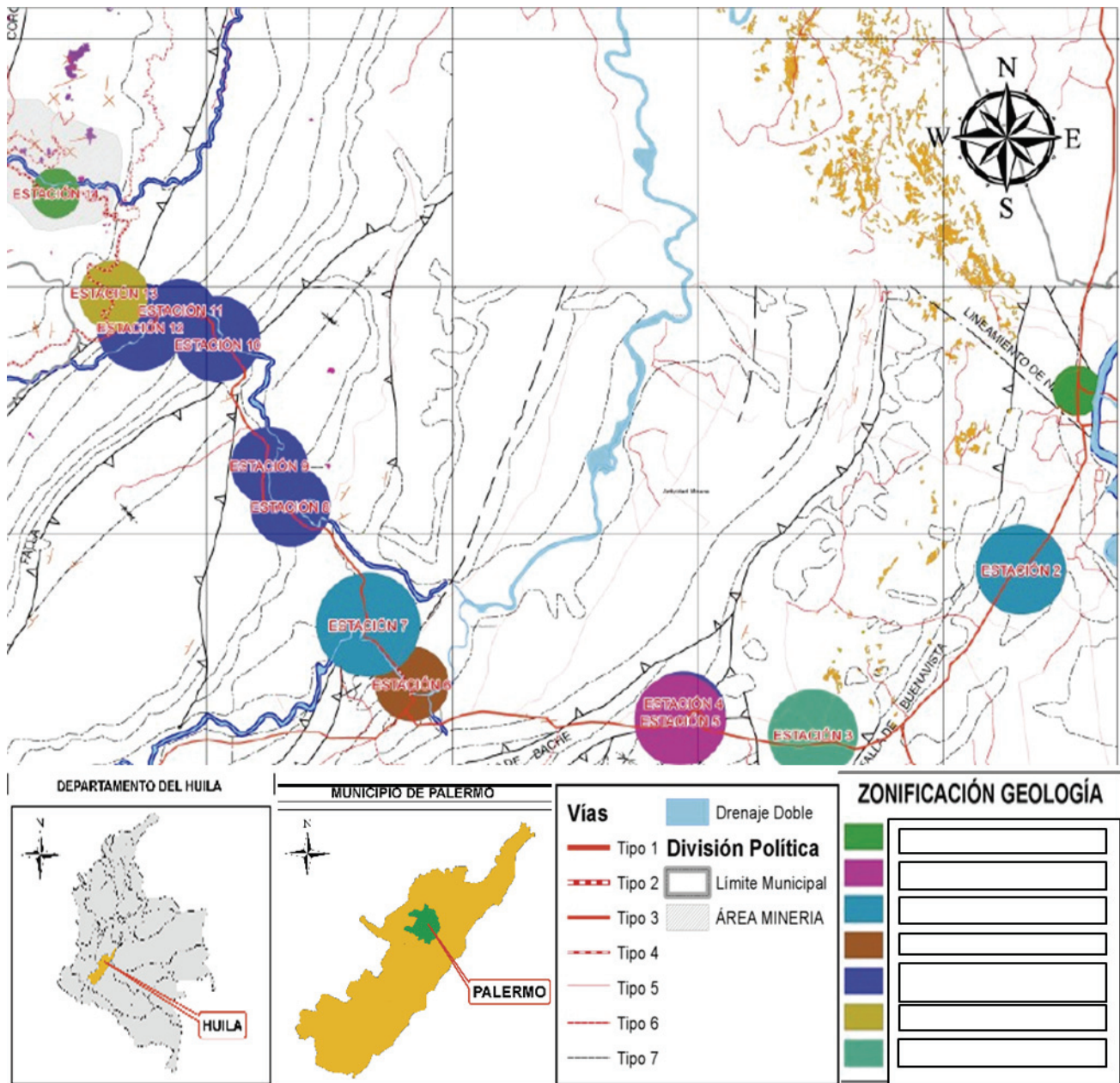


Figura 18. Propuesta de zonificación para las zonas degradada

Fuente: plancha 323 Ingeominas, mapa geológico Neiva- Palermo, (Roberto Vargas), modifíco (Trujillo Edison)

3. Resultados

Las zonas de Palermo estudiadas, presentan un alto deterioro de suelos, y con ello una afectación directa a la fauna y la flora asociadas al sitio. Siendo la erosión hídrica la principal responsable, Acelerándose debido a las fallas geológicas junto a las unidades que la

conforman, pero sobre todo por la acción antrópica, En donde sobre sale el pastoreo, la ampliación de la frontera agrícola, las quemas, la explotación minera y los depósitos de materiales contaminante en los paisajes del municipio. Muchos de los impactos ambientales

negativos vistos en las diferentes estaciones de estudio, pueden ser mitigados de forma efectiva, si se realiza un correcto análisis geológico en correlación con un diagnóstico ambiental, ya que es bastante el dinero que se destina a la recuperación de estos sitios. Pero que lamentablemente las medidas que se toman son deficientes, por no trabajar de manera sistémica con todas las disciplinas que deben intervenir en estos procesos.

A manera general se determina que el mayor causante de la degradación del suelo es la erosión hídrica. Los estudios y los trabajos de recuperación no deben enfocarse de manera directa sobre las zonas afectadas, sino que por el contrario se debe abordar las áreas detonantes, las cuales son las zonas altas donde se evidencia el escurrimiento superficial, en estas zonas se deben construir drenajes para el agua y todo tipo de obras culturales que mitiguen los impactos en las áreas bajas, así mismo se debe determinar con exactitud las especies vegetales o arbóreas a involucrar según sean las condiciones del sitio y la selección de la tecnología más adecuada para la zona, teniendo en cuenta la morfología y geología del terreno.

El saber incorporar las especies forestales adecuadas en las zonas estudiadas, define en gran medida el éxito de la recuperación de estos sitios, pues como se pudo evidenciar en campo, hay especies que han logrado adaptarse a las condiciones de degradación, sin embargo otras especies como el Samán (*Samanea saman*) que la han involucrado de manera antrópica, genera una dinámica, doble filo, ya que dependiendo de la zona, esta puede contribuir de manera eficiente, pero si no se considera las condiciones del lugar esta puede incrementar los problemas puntuales de área, relacionados a la capacidad de carga, o generar inestabilidad

del terreno debido a la fisiología de la especie en áreas con pendientes pronunciadas.

La contaminación residual prevalece en cada una de las zonas degradadas, en algunas estaciones como la número 10, ya se pueden considerar como pequeños basureros a cielo abierto, con un alto grado de contaminación, como lo es el caso de la estación 12, donde se evidenciaron desperdicios de material construido con asbesto, lo cual puede generar problemas a corto y mediano plazo frente a las comunidades, ya que este tipo de material, termina finalmente arrastrado por las aguas a las principales fuentes hídricas.

Es necesario iniciar el proceso de contravenciones y exigencia de la autoridad ambiental frente a estas situaciones de degradación del suelo y deterioro de los recursos naturales, pues los impactos ambientales negativos se están incrementando a un ritmo acelerado. Así mismo se hace necesario que los profesionales que intervienen en el área ambiental, generen las propuestas efectivas que conlleven a contrarrestar este tipo de impactos, además de brindar alternativas de explotación sostenible, donde las personas puedan beneficiarse de los recursos naturales sin agotar la base de los mismos.

Zonificar las zonas impactadas en el municipio de Palermo desde una perspectiva geológica y ambiental, es una experiencia que debe reproducirse en los demás municipios de Colombia, de tal forma que los profesionales puedan abordar la problemática de degradación y deterioro de manera técnica y confiable, con diagnósticos objetivos, que permitan abordar la problemática con soluciones efectivas que permitan la sostenibilidad ambiental y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

El poder reconocer las rocas en campo, permite

predecir el tipo de suelo que se genera, la estabilidad del mismo, y todo el registro histórico de eventos geológicos sucedidos en el tiempo.

El laboratorio de geología, facilita la comprensión y el fortalecimiento de la identificación de rocas y minerales, lo que permite poner en práctica estos conocimientos en campo, de tal forma que los profesionales en el área ambiental, puedan realizar diagnósticos de una manera más integra al tener la geología, como un soporte para determinar el estado de los sitios y por lo tanto formular las recomendaciones respectivas para los diferentes programas de prevención, mitigación corrección o compensación.

El poder reconocer las rocas en campo, permite predecir el tipo de suelo que se genera, la estabilidad del mismo, y todo el registro histórico de eventos geológicos sucedidos en el tiempo. El laboratorio de geología, facilita la comprensión y el fortalecimiento de la identificación de rocas y minerales, lo que permite poner en práctica estos conocimientos en campo, de tal forma que los profesionales en el área ambiental, puedan realizar diagnósticos de una manera más integra al tener la geología, como un soporte para determinar el estado de los sitios y por lo tanto formular las recomendaciones respectivas para los diferentes programas de prevención, mitigación corrección o compensación.

Referencias bibliográficas

1. Amorosi, A., Farina, M., Severi, P., Preti, D., Caporale, L., & Di Dio, G. (1996). Genetically related alluvial deposits across active fault zones: an example of alluvial fan-terrace correlation from the upper Quaternary of the southern Po Basin, Italy. *Sedimentary Geology*, 102, 275–295.
2. Chaparro, J., & Esteve, M. (1995). Evolución geomorfológica de laderas repobladas mediante aterrazamientos en ambientes semiáridos. *Cuaternario y geomorfología*, 9(1-2), 39-49.
3. Gandini, M., Madera, C., & Pérez, M. (2000). Política de control de contaminación hídrica en Colombia: elementos de discusión asociados a objetivos de tratamiento. I Conferencia Latinoamericana en Lagunas de Estabilización y Rehuso, 14.
4. Montenegro, H., & Holmos, M. (1998). Inventario de los problemas de erosión y degradación de los suelos en Colombia. *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Suelos Ecuatoriales*, XXIII(2), 9-22.
5. Myers, N., & Durrell, G. (1999). *El Atlas Gaia de la Gestión del Planeta*. Madrid: H. Blume.
6. Pellant, C. (1992). *Manual de Identificación de Rocas y Minerales: Guía visual de más de 500 especies de rocas y minerales de todo el mundo*. Barcelona: Ediciones Omega S.A.
7. Vargas C., G. (1999). *Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa*. Villavicencio: Secretaría de Medio Ambiente.
8. Vargas C., R. (1999). *Geología Física - Ingenieros*. Neiva: Universidad Surcolombiana.

Reprogramming of a biological neural network as a baseline for multifunctional artificial neural network programming

Resumen

Este estudio se desarrolló con base en una revisión de 20 artículos científicos y documentos de apoyo afines a las redes neuronales artificiales (RNA) en el modelamiento ambiental, donde se determinó que las RNA utilizadas en los estudios de investigación presentaban potencialidades y cumplían con el objetivo para el cual fueron diseñadas. Sin embargo, ninguna era lo suficientemente óptima como para desaprender y enfrentarse a objetivos similares bajo escenarios diferentes. Esta falencia también se presenta en la red neuronal biológica, donde el problema podría radicar en la programación, ya que muchas personas, cuando aprenden algo y lo dan por hecho, les queda muy difícil cambiar lo que ya aprendieron, como es el caso de los movimientos físicos o su proceder psicológico. Después de analizar esta situación se procedió a realizar una reflexión, bajo un nuevo enfoque, analizando experiencias propias y experimentos aplicados para poder entender el fenómeno y generar un punto de partida básico en la programación neuronal. Teniendo en cuenta que si se logra reprogramar la red neuronal de una persona, para que pueda desarrollar varias funciones físicas y mentales sin dar todo por hecho, entonces una RNA también podrá adquirir esta cualidad. En conclusión, se determina que la red neuronal biológica sí puede ser reprogramada, y que por lo tanto se puede realizar un protocolo para que una RNA pueda adquirir esta habilidad. Por último se procede a valorar los artículos de mayor impacto, se identifica el problema, la manera que se resuelve, el resultado que se obtuvo y se finaliza con la redacción de un análisis crítico de cada uno, para destacar su importancia y aplicabilidad.

1 Colombiano, Ingeniero Forestal,
Candidato a Magister en Ingeniería y
Gestión Ambiental; Especialista Técnico,
en Bioinsumos y extractos vegetales,
Instructor Servicio Nacional de
aprendizaje (SENA), la Plata,
danielroaco@misena.edu.co, Tel 57 – 8-
370987

Palabras clave: Red neuronal, programación, reprogramación, entrenamiento.

Abstract

This article was developed based on a review of 20 scientific articles and documents related support to artificial neural networks (RNA), in environmental modeling, where it was determined that the RNA used in research studies, showed potential, and met the purpose for which they were trained, but no was enough optima, to unlearn and face similar objectives under different scenarios, sharing a degree of similarity in the failure to biological neural network, where the problem could be to lie in the programming, because many people, when they learn something and assume them is very difficult to change what we already learned, such as physical or psychological movements proceed. After analyzing this situation proceeded to make a reflection, under a new approach, analyzing own and applied experiments to understand the phenomenon and generate a basic starting point in neuronal programming experiences. Considering that if it can reprogram the neural network of a person, so you can develop various physical and mental functions without giving everything for granted, then an RNA may also acquire this quality. In conclusion, it is determined that the biological neural network itself may be rescheduled, and thus can determine a protocol for a RNA can acquire this ability. Finally we proceed to evaluate the items with the greatest impact, the problem is identified, the so resolved, the result obtained and ends with the writing of a critical analysis of each, to highlight its importance and applicability.

Keywords: Neural networks, Programming,

Reprogramming, Training.

1. Introducción

Una red neuronal artificial (RNA) es un sistema de procesadores paralelos conectados entre sí, que procesan información. Esquemáticamente cada elemento de la red se representa como una neurona, las cuales al conectarse entre sí, establecen una estructura jerárquica que tratando de emular la fisiología del cerebro, buscan nuevos modelos de procesamiento para solucionar problemas concretos del mundo real. Lo importante en el desarrollo de la técnica de las redes neuronales artificiales (RNA) es su útil comportamiento al aprender, reconocer y aplicar relaciones entre objetos y tramas de objetos propios del mundo real. (Freman y Skapura, 1993).

Las redes neuronales artificiales son una forma de intentar ciertas características propias de los animales y los humanos, como la capacidad de memorizar y de asociar hechos. Al examinar aquellos problemas que no pueden expresarse a través de un algoritmo, se observará que todos ellos tienen una característica en común, la experiencia. El hombre es capaz de resolver diferentes situaciones acudiendo a esta. Por lo cual una forma de aproximarse al problema consiste en la construcción de sistemas que sean capaces de reproducir esta característica humana. (Ruiz Alberto, Basualdo Marta 2001)

El objetivo de este estudio es poder entender y determinar un nuevo enfoque a partir de la reprogramación de una red neuronal biológica, generando los principios para la programación de una RNA multifuncional.

El presente estudio surgió del análisis de información científica relacionada a las redes neuronales artificiales, donde se determinó que las RNA utilizadas en los estudios de investigación, presentaban potencialidades, y

cumplían con el objetivo para lo cual fueron entrenadas, sin embargo, ninguna de estas es lo suficientemente optima como para desaprender y enfrentarse a objetivos similares bajo escenarios diferentes, lo que a manera general no se le ha dado la importancia que merece, pues en términos de comparar una RNA con una red neuronal biológica, se tendría en cuenta que comparten un grado de similitud, donde el problema podría estar radicando en la programación ya que muchas personas, cuando aprenden algo y lo dan por hecho, les queda muy difícil cambiar lo que ya aprendieron, como es el caso de los movimientos físicos o su proceder psicológico.

En este estudio presenta una recopilación de los mejores artículos científicos en cuanto a redes neuronales artificiales y se hace una descripción particular, del problema, del desarrollo, de los resultados y se realiza un análisis crítico puntual de cada uno, de tal forma que se expresa la importancia y los puntos a mejorar. Que en resumen fue lo que le dio el punto de partida a esta investigación.

Se citan algunas experiencias y experimentos prácticos de tal forma que el presente artículo además de servir para abordar una falencia en las RNA, también sirva para buscar alternativas en el mejoramiento de la destreza física y el desarrollo emocional de las personas.

Como resultado se obtiene que las RNA son óptimas para el objetivo específico para el cual fueron diseñadas, pero que le es muy difícil desaprender para volver a aprender y seguir cumpliendo con objetivos similares en condiciones diferentes. En las redes biológicas humanas se evidenció una situación similar, lo cual genero el punto de partida para una reprogramación neuronal simple en actividades cotidianas humanas que pueden generar la línea base a la programación multifuncional de una RNA.

2. Metodología

Se procedió a realizar una reflexión, analizando experiencias propias y experimentos aplicados a una red neuronal biológica para poder entender la similitud de falencia con las RNA y generar un punto de partida básico en la programación neuronal Artificial multifuncional.

Se revisaron 50 artículos científicos a fines a redes neuronales Artificiales y se analizaron puntualmente 20 a fines al área ambiental, de los cuales se valoraron los 8 de mayor impacto, a los cuales se les identifico el problema, la manera que se resolvió, el resultado que se obtuvo y se finaliza con la redacción de un análisis crítico de cada uno, para destacar su importancia y aplicabilidad

3. Análisis

Situación de las redes neuronales

Las redes neuronales artificiales son redes interconectadas que operan en paralelo mediante procesadores simples y con organización jerárquica que intentan interactuar con los objetos del mundo real, del mismo modo que lo hace el sistema nervioso central. (Troncone N 2002). Después de leer más de 20 artículos científicos y libros relacionados con el tema, se logra entender de manera básica el funcionamiento de las mismas y los estudios que se derivan de las redes neuronales artificiales en el área ambiental, llegando a la misma conjetura, ya que en todos los documentos analizados se repite igual situación: Las redes neuronales pueden resolver un problema puntual y adaptarse a una situación según su entrenamiento, generando excelentes resultados. Lamentablemente el querer utilizar la misma red neuronal artificial con el mismo objetivo bajo condiciones diferentes, puede acarrear serios errores en la salida de la información. Esto se debe a que, cuando las redes se diseñan para una tarea específica en un lugar

determinado, son entrenadas bajo condiciones definidas; por lo tanto, la red arroja información puntual y es muy difícil que pueda funcionar al utilizarla en otro lugar ya que no se ajusta a la nueva situación.

Las redes neuronales son criticadas a menudo debido a que las relaciones entre las entradas y las salidas no son obvias (es decir, qué leyes gobiernan el efecto que cada entrada tiene en una salida), como resultado de la presencia de la capa oculta intermedia en lugar de una ruta directa desde la entrada hasta la salida (R.A. Cottis 1999)

Entrenamiento de redes

Para entrenar una RNA se usa un conjunto de patrones en donde se determinan los parámetros que definen el modelo de red neuronal y se calculan de manera repetida, entendiendo que las RNA se hicieron inspiradas en el funcionamiento del cerebro humano y en el de los animales, se decide darle vida a algunas experiencias pasadas y hacer una serie de experimentos prácticos, los cuales facilitarán la investigación y comprensión por parte del lector. En primer lugar, se analiza que el problema de las redes neuronales radica en que a medida que son entrenadas y adquieren su nivel de inteligencia, filtran la información puntual de su propósito, razón por la cual cuando se enfrentan a otro objetivo con algunas características similares, las redes no responden de la manera en que se espera, pues se pueden contradecir en sus datos.

Redes neuronales artificiales vs. naturales

De poder responder el problema expuesto en el párrafo anterior, no solo se avanzaría en el desarrollo de las redes neuronales artificiales, sino también en las redes naturales. Pues aunque parezca difícil de creer, muchas personas presentan una deficiente programación neuronal natural o un problema de entrenamiento, por lo cual una solución en la red

neuronal artificial resuelve un problema en la red neuronal natural y viceversa.

Para encontrar un protocolo simple para la programación de una red neuronal multifuncional, es decir, que se pueda acoplar a varios objetivos de una misma línea sin inhabilitar la información y contradecirse a sí misma, se hace necesario citar algunas experiencias, y partir del modelo original. Basta recordar que Donald Hebb, en 1949, fue el primero en explicar los procesos del aprendizaje desde un punto de vista psicológico, enfocado en que el aprendizaje ocurría cuando ciertos cambios en una neurona eran activados. Y que en el presente puede ser la base para abordar el problema de adaptación de una red neuronal artificial (luego de aprender sobre un objetivo específico) a solucionar otros problemas con un mismo enfoque pero bajo diferentes situaciones.

Experiencia asociada a una red neuronal natural

Cuando se es niño y a medida que se va creciendo, lo que más se aprende es lo que más se repite o las cosas que por alguna razón fueron especiales y que marcan la vida de un individuo, como un accidente, la muerte de un familiar, un sentimiento de amor etc. generando asombro o un tipo de impacto diferente a las situaciones rutinarias. Muchas de estas situaciones, al asociarlas con otras cosas que se evidencian en el momento como olor, sabor, ruido, circunstancias, entre otras, pueden quedar grabadas en la memoria. Por lo cual después de que suceden estas experiencias, se puede adquirir un aprendizaje; o para ser más puntual, se almacena una información que sería necesaria en el futuro, pues cuando ocurren cosas similares a las del pasado, de una u otra forma se cuenta con conocimiento para enfrentar las situaciones del presente, la red neuronal artificial obedece a este patrón. Sin embargo, hay situaciones que se aprenden y

que, cuando se generalizan, se vuelven erróneas al tener que enfrentarse con escenarios diferentes.

Por ejemplo, una experiencia en docencia. Algunos alumnos son reprimidos desde su infancia porque han sido ridiculizados; y cuando avanzan en sus estudios, se ven imposibilitados para participar. Esto se debe a que su red neuronal aprendió que bajo ciertas circunstancias, el debería abstenerse. De lo contrario, sería ridiculizado nuevamente. Y aunque todos sus compañeros hayan madurado o sean diferentes, la red no lo distingue como tal. Por lo tanto, el temor va a existir y su reacción de protección va a ser cohibirse de participar. Para superar esta situación, un psicólogo se ve obligado a intervenir. En términos de redes, el profesional está reprogramando la red neuronal del alumno, generando un nuevo proceso de aprendizaje bajo una situación diferente, en la cual el aprendizaje erróneo del pasado no debe marcar el futuro.

Comparación con la red neuronal artificial

Bajo el ejemplo del párrafo anterior, se manifiesta el mismo problema en las redes neuronales artificiales, pues cuando estas se programan con datos confiables son excelentes, óptimas para cualquier rama de las ciencias. Lamentablemente ante los cambios de situación en el futuro, estas redes empiezan a presentar una serie de errores que afectan los resultados de las investigaciones. Y por lo tanto, así como un psicólogo puede intervenir en la reprogramación de un individuo, se necesita un protocolo para intervenir en la red neuronal artificial cuando se presentan cambios inesperados, sobre todo en el área ambiental que es tan dinámica.

Desde otra perspectiva y bajo el mismo ejemplo anterior, si se hubiera realizado una red neuronal artificial para predecir el

comportamiento de los alumnos, esta tendría que enfrentarse a los datos de las vivencias pasadas de los estudiantes; por lo tanto filtraría esta información tratando de hallar la mejor respuesta según sea su entrenamiento. Si esta red se utiliza después en otra institución y con otros alumnos, no resultará confiable.

Situación interrogante

La pregunta que surge es: ¿se puede programar la red neuronal de los alumnos para que todos puedan ser participativos? Si se logra como humanos, ¿acaso no se puede reprogramar una red neuronal artificial para que sea multifacética, es decir que después de que haya sido entrenada y genere salidas específicas, pueda ser reprogramada sin que afecte sus salidas iniciales y pueda brindar información contundente de otra situación con un objetivo similar a la situación inicial?

Comprobación práctica

Se realizó un experimento práctico con un grupo de aprendices del Centro de Desarrollo Agroempresarial y Turístico del Huila. Los jóvenes, quienes no superaban los 22 años de edad, pertenecían al programa Tecnólogo en Control Ambiental. El objetivo consistió en identificar la programación que tienen en cuanto al movimiento simultáneo de las partes del cuerpo, bajo movimientos independientes y contrarios. En general, se determinó que todos tenían movimientos rutinarios que obedecían a una mecánica repetitiva, lo cual les impedía realizar movimientos diferentes a los acostumbrados, ya que al intentar hacerlos, sintieron dolor. Tanto así, que ni siquiera pudieron realizar un movimiento contrario porque inmediatamente los movimientos respondían a una sola función. Cuando el hombre aprende y convierte ese conocimiento en una verdad es muy difícil que pueda aceptar otra cosa; y más difícil aun, es dividir las partes que lo llevaron a esa conclusión.

Un ejemplo básico es un simple movimiento de dedos de la mano, cuando una persona quiere cerrar uno o dos dedos sobre sí, los que están al lado también tienden hacerlo, lo que limita los movimientos independientes.

Reprogramación

Para reprogramar las unidades de manera independiente sin perder la información inicial del comportamiento de la red neuronal, se necesita conocimiento y entendimiento. Luego, todo consiste en entrenar. Se debe seguir un protocolo en el cual no se le puede pedir al cuerpo que haga algo, sin antes enseñarle cómo hacerlo, pues el cerebro es como un niño que necesita ser guiado. En el caso del ejemplo particular de la mano, se comienza con el entrenamiento de cada uno de los dedos por separado y el entendimiento de que sí es posible. De nada vale entrenar si no se cree que se puede lograr, de esta forma se rompe la situación inicial sin que se pierda el conocimiento previo. Después de un tiempo de 2 meses se obtiene el objetivo. Luego se reproduce la información con los aprendices y solo uno lo logra. Los demás dicen que no se puede hacer. Esto evidencia que los problemas no son físicos, solo son mentales. De igual manera, las redes neuronales artificiales presentan los mismos problemas que muchas personas tienen. Todo está en su programación.

Para resumir, se han logrado realizar 16 movimientos simultáneos, donde la tercera parte de estos son contrarios, lo cual duplica el esfuerzo pero determina un sinnúmero de funciones en un mismo tiempo, y comprueba que el hecho de que las personas hagan una sola cosa al tiempo, se debe a su programación neuronal. Por lo cual, si se lograra realizar un protocolo de entrenamiento sistémico a una red neuronal artificial, esta sería un éxito.

3.1 Redes neuronales en modelación ambiental

A continuación se citan los artículos científicos que representan los mejores documentos de la revisión de la literatura citada, teniendo en cuenta que el problema identificado en las redes neuronales, está inmerso en todos los artículos consultados. Cada uno se representa por su título original, seguido de los autores, el problema a tratar, cómo se solucionó, los resultados y un análisis crítico

3.1.1 Modeling the environmental dependence of pit growth using neural network approaches

MK Cavanaugh, RG Buchheit, N. Birbilis a.

Problema que trata: cómo predecir con precisión la profundidad, distribución y diámetro de pozo como una función de variables ambientales, en las aleaciones de aluminio aeroespacial, que experimentan picaduras de corrosión en servicio y nucleas grietas de fatiga.

Cómo se resolvió el problema: el problema se resolvió utilizando modelamiento con redes neuronales, es decir, modelando eficazmente dimensiones máximas de pozo y los parámetros de distribución del tamaño de las diferentes partículas en las aleaciones de aluminio espacial en servicio, de tal manera que se caracterizara la profundidad máxima de picadura y diámetro máximo. Las entradas para todas las redes neurales fueron la temperatura, el pH, $[Cl^-]$, tiempo de exposición, y la orientación, mientras que la salida era la profundidad máxima de picadura, el diámetro máximo hoyo. Cada parámetro se normalizó entre 0 y 1 antes de introducirlo en la red. El Modelado de la red neuronal se realizó utilizando JMP[®] 8 software estadístico; seis redes neuronales se formaron, uno para cada parámetro.

La Figura 1 representa la estructura de la red neuronal utilizada para todos los parámetros de salida (el parámetro forma, (α) , el parámetro de escala, (β) , y la profundidad máxima de

picadura (d_{max}). El número de nodos (H_n) en la capa intermedia varía para cada parámetro.

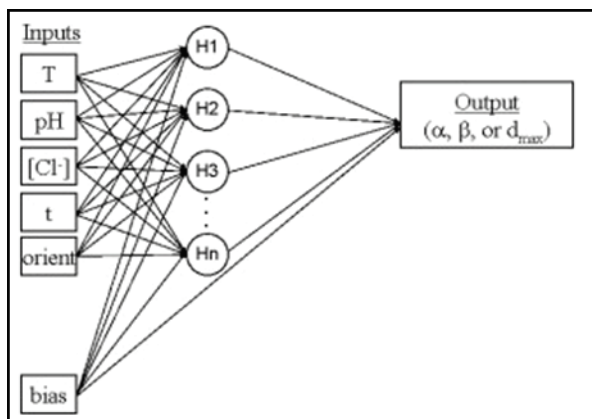


Figura 1: representación de la red neuronal

Fuente: MK Cavanaugh

Resultados: los datos de entrenamiento, validación se encaja relativamente bien con un R^2 de 0,71 y los datos de prueba se predijeron con exactitud (con un $R^2 = 0,90$). Para predecir la máxima profundidad del foso, Se presentaron los modelos de redes neuronales probados que pueden predecir con precisión la profundidad de boxes y distribuciones de diámetro de pozo como una función de variables ambientales. Además, la profundidad de la picadura máxima y el diámetro como una función de medio ambiente fue predicha por los modelos de redes neuronales. Dado que los pozos más profundos no siempre son responsables de iniciar agrietamiento por fatiga, la capacidad de predecir, no sólo la mayor fosa, sino una población de pozos es un resultado significativo.

Análisis crítico: El modelamiento y el sistema de redes neuronales en el desarrollo de este experimento resulta ser una herramienta base para predecir los efectos de la picadura de corrosión en las aleaciones de aluminio espacial causado por variables ambientales, lo cual sirve para tomar medidas en el presente y mitigar los impactos a futuro. Sin embargo se determina que esta red, es una herramienta óptima para predecir, siempre y cuando las variables

ambientales sigan un patrón específico. Es decir, la red neuronal tiene una entrada de información, una de proceso y otra de salida, cuando esta se entrena en un fundamento, lo acopla como una salida, y se centra en la información que le sirve y la demás información se vuelve obsoleta, es como aprender de memoria un tema para generar una respuesta y con ello, perder la capacidad de recordar o tomar decisiones simples. Esta red después de que es entrenada, en un ambiente específico, es muy difícil que se pueda utilizar en otro ambiente cambiando las variables, puesto que nuevamente se debería realizar un entrenamiento con otra red.

3.1.2 A feature extraction unsupervised neural network for an environmental data set.

Giuseppe Acciani, Ernesto Chiarantoni, Girolamo Fornarelli, Silvano Vergura

Problema que trata: Cuando se analizan datos ambientales se depende del tiempo en el mediano y largo plazo, por lo cual, cuando el número de puntos medidos en un ambiente crece, se dificulta en gran medida la selección eficiente y el análisis de la información útil de todo el conjunto de datos, acarreando no poder pronosticar de manera eficiente y rápida los efectos de los contaminantes u otras variables en los humanos.

Como se resolvió el problema: Proponiendo una técnica de extracción de características basado en un nuevo modelo de red neuronal no supervisada adecuada para analizar datos ambientales. Tomando como ejemplo los contaminantes químicos y de esta manera demostrar que la red es capaz de identificar correctamente un conjunto de datos ambientales y determinar sus efectos, Generando ventajas como capacidad para validar los datos de forma local y para facilitar el proceso de análisis humano.

Resultados: El conjunto de datos considerados

en las simulaciones se obtuvo a partir de una serie de siete estaciones de monitoreo ubicadas en los puntos críticos alrededor de Bari, una ciudad en el sur de Italia. Las ubicaciones de estas estaciones de monitoreo se seleccionaron para que coincidiera con la confluencia nodal de vías principales y en las proximidades de las fábricas contaminantes. En un vector, El espacio de datos utilizado en todos los experimentos se obtuvo mediante la recopilación de los datos, a una frecuencia de muestreo de 1 h / punto. En este caso, 26 de las 50 unidades son subutilizados. La presencia de un valor umbral límite que produce un número constante de unidades de la red revela una importante característica de la estructura del espacio de entrada, el cual se caracteriza por un conjunto de grupos compactos y separados y sus centros de masa.

Esta estructura se encuentra si el conjunto de datos clasifica la adopción de los valores finales de los vectores de peso como las características de un clasificador de mínima distancia. Los valores finales de los pesos de las unidades utilizadas fueron adoptados como vectores de referencia para el proceso de clasificación posterior. La presencia de una línea de puntos revela una discontinuidad en la regularidad tiempo para las clases. En particular, algunas clases desaparecen y otras clases aparecen. Estas aparentes anomalías se deben a un cambio rápido en los hábitos humanos. De esta manera es posible comparar las clasificaciones humanas y de los nervios, de hecho, una clase procedente de análisis neuronal se considera que es una clase (anómalo) cuando la mayoría de sus datos pertenecía a una clase anómala humana. De hecho, los datos pertenecientes a la clase normal podrían dejarse de lado mientras que los datos pertenecientes a la clase anómala, requieren un análisis más preciso y debe ser analizado cuidadosamente.

Análisis crítico: La metodología que se propone en este artículo, es viable para el análisis de datos ambientales en una red neuronal, destacándose

la capacidad para encontrar la mayor cantidad de datos útiles sin que todo se base en una simple extracción. Además tiene la capacidad para validar los datos de forma local, lo cual es un soporte y una base para facilitar el análisis de los diferentes procesos en los humanos. Al hacer un análisis de los resultados se determina que hay que tener en cuenta que para que esta metodología funcione eficientemente, se debe disminuir el error por pérdida de datos relevantes, pues a diferencia de los objetivos de otras redes neuronales, en esta hay gran dependencia de la seguridad de las personas y por lo tanto siendo el hombre el recurso máspreciado sobre el planeta tierra, todos los avances que se desarrollen entorno a las personas deben garantizar la mayor precisión posible. Retomando la crítica del anterior artículo, la red neuronal se entrena bajo unos objetivos específicos sin que esta se pueda acoplar de manera eficiente a los cambios de ambiente o entorno, toda su programación se basa en el sitio en interés de particular, y si se desea realizar un nuevo estudio con otras variables, es necesario montar una nueva red para hacer la programación con los nuevos datos. Por lo cual las redes neuronales deberían ser multifacéticas, evitando las pérdidas de información, maximizando la selección de datos y disminuyendo la extracción o eliminación de lo que supuestamente la red considera no relevante.

3.1.3 Layered neural networks based analysis of radon concentration and environmental parameters in earthquake prediction.

A Negarestani, S Setayeshi, M Ghannadi-Maragheh, B Akashe.

Problema a tratar: Como predecir terremotos en base a parámetros ambientales y concentración de radón en un sitio sísmicamente activo teniendo en cuenta las variaciones en el tiempo.

Como se resolvió el problema: Este problema se resuelve Utilizando el análisis de una red neuronal MLP como método para estimar la concentración de radón en el suelo, y los parámetros ambientales. Diferenciando de esta manera los cambios que se deben a fenómenos de anomalías en la tierra, como un terremoto en relación a los diferente parámetros. Teniendo como ventaja la extensión sustancial de los mismos para que el enfoque sea eficiente.

En la figura 2 se observa que (a) es Una red neuronal de tres capas con N entradas valorados continuas, una salida y dos capas de unidades ocultas. En las fórmulas, x_j y x_k son las salidas de los nodos en las primera y segunda capas ocultas; θ , θ' y θ'' son desplazamientos internos en los nodos; V_{ij} es la fuerza de la conexión de la entrada a la primera capa oculta; y v_{ij} y V_{ij} son las fuerzas de conexión entre el primero y el segundo y entre la segunda y las capas de salida, respectivamente. (b) es un elemento computacional o nodo que forma una suma ponderada de N entradas y pasa el resultado a través de una función no lineal tal como un sigmoide.

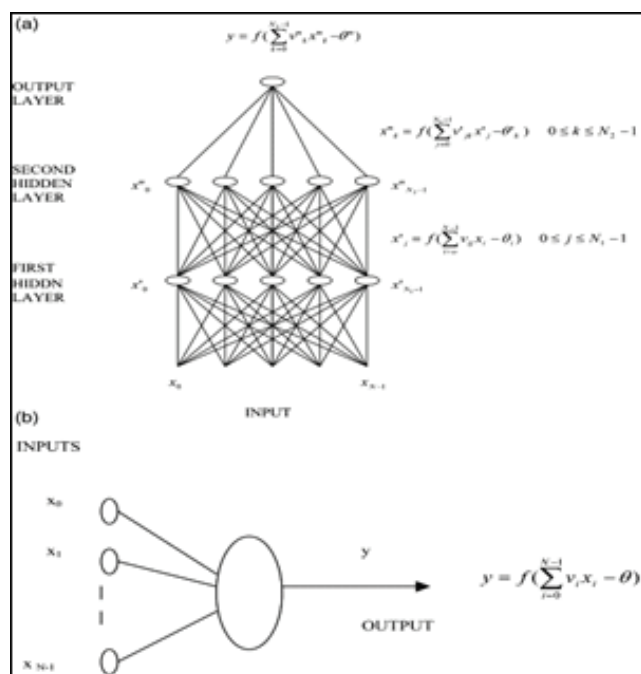


Figura 2. (a): Red neuronal de 3 capas y (b) nodo **Fuente:** Widrow y Lehr, 1990.

Resultados Este método está en comparación con las salidas de otro método basado en la respuesta de impulso de la serie de tiempo multivariable. La eficacia de la utilización de este enfoque para la estimación de la concentración de radón semanal se relaciona con la media semanal de la temperatura, la presión y la precipitación de 100 cm y 50 cm de profundidad, tal como se mide por Wattanikorn et al. (1998).

Una configuración de los parámetros ambientales y la concentración de radón se consideran como la entrada y la salida de la red neuronal, respectivamente. La arquitectura de red neuronal que se ha empleado consta de tres capas, una salida y dos capas de unidades ocultas, con exclusión de la capa de entrada. El aprendizaje se consigue utilizando retro propagación de errores resultantes de la diferencia entre la salida y los valores reales durante el entrenamiento. El número de nodos de la primera capa oculta se ha fijado en tres años, el número de nodos ocultos segundo se fija en seis años y el número de nodos de salida se fija en uno. La formación continua sobre patrones de entrada común para 400 iteraciones con $\eta = 0,2$, donde η es el término de ganancia. Estos valores y la configuración se eligieron porque dan el mejor ajuste entre las series estimadas y medidas de tiempo para el gas radón del suelo durante el intervalo entre las semanas 15 a 18. Este método puede dar una mejor estimación de las variaciones de radón relacionados con el parámetro de precipitaciones (semanas 31-40).

Resultados Este método está en comparación con las salidas de otro método basado en la respuesta de impulso de la serie de tiempo multivariable. La eficacia de la utilización de este enfoque para la estimación de la concentración de radón semanal se relaciona con la media semanal de la temperatura, la presión y la precipitación de 100 cm y 50 cm de profundidad, tal como se mide por Wattanikorn et al. (1998).

Una configuración de los parámetros

ambientales y la concentración de radón se consideran como la entrada y la salida de la red neuronal, respectivamente. La arquitectura de red neuronal que se ha empleado consta de tres capas, una salida y dos capas de unidades ocultas, con exclusión de la capa de entrada. El aprendizaje se consigue utilizando retro propagación de errores resultantes de la diferencia entre la salida y los valores reales durante el entrenamiento. El número de nodos de la primera capa oculta se ha fijado en tres años, el número de nodos ocultos segundo se fija en seis años y el número de nodos de salida se fija en uno. La formación continua sobre patrones de entrada común para 400 iteraciones con $\eta = 0,2$, donde η es el término de ganancia. Estos valores y la configuración se eligieron porque dan el mejor ajuste entre las series estimadas y medidas de tiempo para el gas radón del suelo durante el intervalo entre las semanas 15 a 18. Este método puede dar una mejor estimación de las variaciones de radón relacionados con el parámetro de precipitaciones (semanas 31-40).

Análisis crítico: Una red neuronal es un método apreciable para poder realizar una estimación de radón en el suelo y su relación con parámetros ambientales. Teniendo en cuenta que no necesariamente estos conservan una relación lineal, por lo cual, todo cambio por mínimo que sea puede generar a anomalías serias en un sistema en este caso el terrestre, teniendo una herramienta útil en la predicción de terremotos para un sitio específico en Tailandia. Como ya se ha analizado aunque esta red neuronal es eficiente para un sitio específico como Tailandia, esta misma no se puede utilizar para otro sitio en particular así los parámetros ambientales sean los mismos, por lo que es necesario establecer diferentes redes con respecto a los sitios de investigación, partiendo siempre de ceros, lo cual es una limitación en el avance de la predicción de terremotos en general.

3.1.4 Comparing large number of metaheuristics for artificial neural networks

training to predict water temperature in a natural river.

Adam P. Piotrowski, Marzena Osuch, Maciej J. Napiórkowski, Pawel M. Rowinski, Jaroslaw J. Napiórkowski.

Problema a tratar: Los cambios de temperatura tiene un impacto decisivo en la vida acuática y en los cambios químicos que en esta se desarrollan, ocasionando serios problemas en el sistema hídrico sin que estos puedan ser asimilados con prontitud, debido a que se carece de pronósticos acertados en los cambios de temperatura con respecto al tiempo.

Como se resuelve el problema: El problema se resuelve mediante 23 métodos de entrenamiento diferentes, incluyendo 22 metaheurísticas y el algoritmo de Levenberg-Marquardt que utiliza información sobre los derivados, aplicando a Multi-Layer Perceptron artificial redes neuronales de entrenamiento para el problema de la regresión de la temperatura del agua de la previsión en un río natural. Río Biala Tarnowska que fluye a través de baja parte montañosa del sureste de Polonia fue seleccionado para el estudio. La mayoría de metaheurísticas utilizados en este estudio pertenecen a la familia de algoritmos de Evolución diferencial, también variantes de enjambre de partículas de optimización, Evolución Estrategias, multialgorithms y métodos de búsqueda directos fueron probados. Al igual que el impacto del tamaño de la población en caso de evolución diferencial, los algoritmos de optimización de enjambre de partículas, y el impacto de algunos de los parámetros de control específicos de otras metaheurísticas en el rendimiento del algoritmo.

Resultados: En este estudio no hay entradas autorregresivas al modelo, la temperatura del agua del pasado nunca se utiliza para modelar los futuros. Insumos autorregresivos se evitan,

ya que los modelos de pronóstico de temperatura del agua se pueden utilizar para proporcionar predicciones para las futuras condiciones climáticas, y la temperatura del agua no siempre se mide en los ríos naturales. El rendimiento de cualquier variante de la EPSO es significativamente más pobre que el rendimiento de los algoritmos LM o Trig-Degl. Los otros algoritmos basados en la DE no son capaces de entrenar MLP correctamente.

Los algoritmos que utilizan CMA-ES como método constituyente de vez en cuando no logran converger a cualquier óptimo local razonable, lo que lleva a altos valores de rendimiento medio para el entrenamiento y los datos de prueba. El rendimiento promedio de PMS es afectada por algunas carreras malas, pero su rentabilidad mediana, aunque no excepcional y claramente más pobre que el rendimiento de LM, es, según lo sugerido por sus inventores (ver Iacca et al., 2012 y Caraffini et al. 2013). Para los datos de pruebas de la MSEagg del mejor método de entrenamiento es sólo 2,5 veces menor que el MSEagg del método de entrenamiento más pobre. En general, el desempeño de pronóstico es la más adecuada, los errores más frecuentes se observan durante los meses de invierno, cuando la congelación y la fusión de los procesos se producen en un río, que son muy difíciles de predecir. Con frecuencia, el modelo espera el calentamiento de agua, mientras que en la naturaleza el río aún está congelado o, incluso si el agua está libre de hielo, su temperatura no aumenta. La mayor dinámica en la temperatura del agua se ve durante la primavera o el verano. Los cambios rápidos suelen ser correctamente predichos y, en muchos casos, las previsiones son muy buenas, en algunos casos las previsiones pueden diferir de las mediciones para un número de días consecutivos, con frecuencia debido a las condiciones meteorológicas específicas (nubes, lluvias).

Análisis crítico: Este estudio es bastante

complejo y deja muchos sin sabores ya que en si solo se comparan valores de manera rigurosa y de esta manera se puedan validar resultados por medio de pruebas estadísticas. Siendo solo una primera fase de un estudio, ya que para poder ser validado eficazmente se necesita como mínimo 50 repeticiones de cada método de entrenamiento. Hay que tener en cuenta que el hecho de que se incorpore la metaheurística, a este estudio, permite que se desarrolle un avance significativo en el campo de las redes neuronales, ya que los métodos de entrenamiento también son llevados a juicio y esto a su vez da saltos en la búsqueda de redes generales, que se puedan acoplar a problemas diversos en un mismo sistema.

3.1.5 Environmental statistical process control using an augmented neural network classification approach.

Deborah F. Cocine, Christopher W. Zobel, María Leigh Wolfe.

Problema a tratar: Como identificar problemas ambientales mediante indicadores, que permita realizar las medidas de mitigación y prevención a tiempo.

Cómo se resolvió el problema: Identificando los cambios en parámetros ambientales que conducen a la detección temprana de los problemas y las medidas correctoras adecuadas, reduciendo así el riesgo de consecuencias a largo plazo. En donde el Control Estadístico de Procesos (SPC), las técnicas tradicionalmente se han utilizado para identificar cuando los parámetros del proceso se han alejado de sus valores nominales. En situaciones en las que hay correlaciones entre las salidas observadas del proceso, sin embargo, como en muchos procesos ambientales, los supuestos subyacentes de la SPC se violan y como las redes neuronales se hacen necesarios. Un enfoque de red neural que incorpora un algoritmo de preprocesamiento de datos geométricos identifica la necesidad de un

mayor muestreo de observaciones, para facilitar la detección temprana de los cambios en los parámetros del proceso del medio ambiente autocorrelacionado. La Utilización del algoritmo de preprocesamiento y el aumento de la técnica de muestreo de activar la red neuronal para identificar con precisión el estado del proceso de control, fue capaz de identificar los cambios en los parámetros de proceso altamente correlacionados con precisiones que van desde 96,4% a 99,8%.

Resultados: Se utilizó un enfoque de clasificación de la red neuronal aumentada para identificar los cambios en los datos de autocorrelación, con especial aplicación a los datos de monitoreo ambiental. El enfoque de clasificación incluye un algoritmo inicial de preclasificación geométrica como parte del proceso de formación de redes neuronales. La etapa de pre-clasificación mejora la capacidad de la red entrenada para identificar los cambios en los datos de proceso correlacionados mediante la identificación de las posibles áreas de solapamiento para el esquema de clasificación. El sistema de clasificación de la red neuronal aumentada se aplica a un conjunto de datos ambientales, específicamente, las concentraciones de nitrato. Las Redes fueron entrenadas para detectar cambios de 1,5, 2 y 2,5 desviaciones estándar de la media del proceso. Cada red tenía una exactitud de las pruebas de más del 99% en el proceso de formación. Los datos reales de Burt et al. El enfoque de clasificación de la red neuronal fue capaz de identificar los cambios en un proceso con una precisión que van desde 94,10% a 99,76% para los coeficientes de correlación más altos de 0,7 y 0,9. Tasas de clasificación correcta para un coeficiente de correlación de 0,5 con turnos de 1,5 y 2 sigma oscilaron entre 96,39% y 99,12%. Sólo el sigma cambia con un coeficiente de correlación de 0,5 producido tasas de clasificación menos satisfactorios de 85,24% y 91,98%. Esta capacidad representa una mejora significativa sobre los métodos existentes y

aumentaría en gran medida la capacidad de un gerente de medio ambiente para vigilar y controlar con éxito un proceso de autocorrelación.

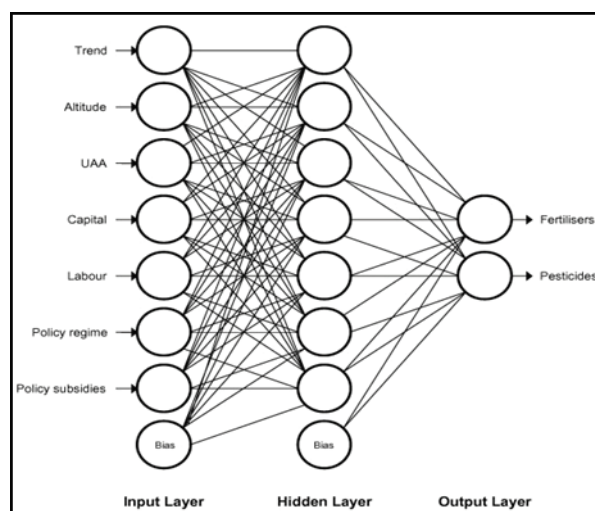


Figura 3. Estructura de la red neuronal multicapa Feedforward

Análisis crítico El análisis estadístico mediante una red neuronal aumentada permite un enfoque viable para la supervisión de procesos en la presencia de autocorrelación, es decir que en los sistemas ambientales, se podría realizar un monitoreo constante, en donde la presencia, ausencia o cambio en un parámetro ambiental definiría la situación de un elemento o sistema del ambiente. Este estudio sirve como ejemplo para corroborar el análisis crítico que he realizado en artículos anteriores, debido a que si se puede determinar que los cambios en un parámetro ambiental puede determinar los problemas con prontitud que ocurren en el entorno, como los diferentes tipos de contaminación, o deterioro ambiental, por pérdida de oxígeno, el cambio de ph, la temperatura, la humedad relativa etc. Entonces estamos frente a una herramienta necesaria que necesita optimizarse para actuar de manera diversa y general. Es decir que esta red neuronal aumentada, pueda ejecutarse en diferentes sitios, bajo diferentes situaciones y parámetros ambientales diferentes.

3.1.6 A neural network for evaluating environmental impact of decoupling in rural systems

Andrea Bonfiglio a.

Problema a tratar: Como determinar si los cambios en las políticas agrícolas y los efectos generados por la disociación en los sistemas rurales ha afectado el medio ambiente de manera positiva.

Como se resolvió el problema: Evaluando el impacto ambiental de una disposición específica de la reforma de la Política Agrícola Común de 2003 de la Unión Europea en términos de consumo de fertilizantes y pesticidas, desde la producción en la economía agrícola de una región rural italiano durante el período 2005-2007. Los efectos de la eliminación de las ayudas a la renta política también se evaluaron. Para este propósito, una red neuronal multicapa Feedforward (figura3) se aplicó para modelar el comportamiento de los agricultores durante el período 2003-2007. La metodología demostró que la capacidad de predicción es superior a los métodos tradicionales y permite una interpretación de las relaciones entre los predictores y salidas, respondiendo así a una de las principales críticas de las redes neuronales en estudios de este tipo.

Resultados: La regresión lineal multidimensional demuestra muy buenos resultados. Por lo tanto, incluso un modelo lineal simple se aproxima al comportamiento de los agricultores, según lo descrito por las variables utilizadas. Sin embargo, el modelo lineal, sólo por su simplicidad, presenta un inconveniente es decir, que la predicción de valores negativos relacionados con el uso de productos químicos. Predicciones negativas ascienden a 1% y el 7% de todas las observaciones, en referencia a los fertilizantes y

pesticidas, respectivamente. Por el contrario, la MFNN producen mejores resultados económicamente significativos, que las metodologías tradicionales, como, en este caso, la regresión multidimensional. Además, tiene la ventaja de tratar simultáneamente con múltiples variables dependientes. Resultados producidos por la aplicación, indican que la continuación del régimen de política acoplamiento habría dado lugar a una utilización de fertilizantes de 22,2% mayor y un aumento en el consumo de plaguicidas de 18,7%. En el marco de modelización utilizado, esta expansión es el resultado de una mayor cantidad de sustancias químicas empleadas por hectárea. Invirtiendo el razonamiento que se desprende de la lectura de los resultados asociados con los escenarios 1 y 2, es posible evaluar el impacto ambiental producido por los pagos directos disociados en el período 2005-2007, la disociación pagos directos permitió una reducción media en el uso de fertilizantes y pesticidas de 22,2% y 18,7%, respectivamente. Alternativamente, se puede afirmar que desvincular los pagos de la producción evitó usar productos químicos a niveles de aproximadamente 20% más altos que los observados en el marco del régimen de desacoplamiento. Esto confirmaría la conclusión de que la disociación elimina el estímulo para intensificar la producción con el fin de recibir un ingreso adicional o, al menos, sugiere que este efecto se produce en el caso analizado y regional para el período examinado.

Análisis crítico: aunque la aplicación de las redes neuronales en este tipo de estudio es bastante compleja, debido a que se tiene que modelar un comportamiento social frente a una situación ambiental, lo cual lo expone a muchas críticas. El estudio demostró que la capacidad de predicción de una red neuronal multicapa Feedforward, bajo una base de datos confiable, es superior a los métodos tradicionales y permite una interpretación de las relaciones entre los predictores y salidas. Facilitando el manejo de la información y permitiendo inferir en la toma de

decisiones. Sin embargo, es de resaltar que aunque esta metodología para la investigación puntual brindo un nivel aceptable de confianza. Se debe tener mucho cuidado con la investigación aplicada a otras regiones, pretendiendo creer que el comportamiento será el mismo. Ya que el éxito de la nueva red dependerá, de la confiabilidad de los datos que se utilizan para alimentarla, así como la forma en que se programa y las circunstancias en las que se desarrolla de manera sistémica.

3.1.7 Implementing remote sensing strategies to support environmental compliance assessment: A neural network application Original Research Article.

James K. Lein a.

Problema a tratar: Como determinar si la tecnología de percepción remota, para evaluar las condiciones del entorno, es una herramienta adecuada para cumplimiento y la aplicación de tareas complejas e intensivas para la toma de decisiones de carácter ambiental

Cómo se resolvió el problema: Examinando el papel de la teledetección por satélite en la evaluación de la conformidad. Es decir se investiga los relieves de los aspectos más destacados de la teleobservación por satélite para informar a los encargados de la gestión de la calidad ambiental en cuanto a los puntos fuertes y las limitaciones, de esta forma de recolección de datos, Se genera una alternativa para simplificar el procesamiento tradicional de la máquina de imágenes de teledetección introduciendo la utilización de las redes neuronales artificiales en un papel de apoyo a las decisiones que proporcionan una solución "offthe-shelf" que puede facilitar un mayor acceso a esta tecnología especializada.

Resultados: Los resultados obtenidos a partir de la tecnología de redes neuronales cuando se evalúa contra las partes de la imagen reservada

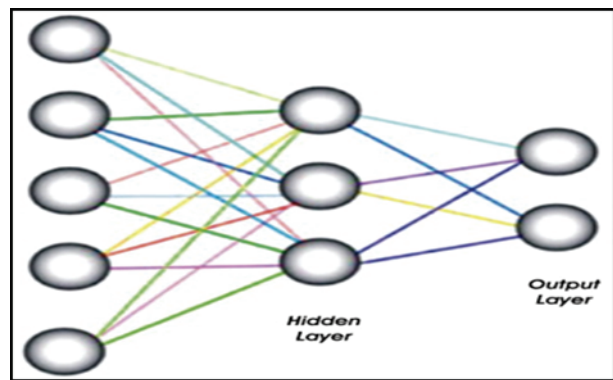


Figura 4. Modelo de red neuronal idealizado basado en la arquitectura de múltiples capas de percepción.

para fines de ensayo, representa la solución de red para el estudio de caso de Akron, Ohio. Tomando como ejemplo, los desechos de vertederos industriales que muestran un patrón espacial disperso que fue confundido con tierra seca y las zonas con escasa vegetación.

Gran parte de esta confusión podría atribuirse a la naturaleza discontinua de los materiales depositados en la superficie y el alto mestizaje entre las pilas de material y suelo estéril. Los sitios de disposición de Automóviles se identificaron principalmente en los márgenes del paisaje urbano pero se confundieron con los estacionamientos. Una vez más, el método de almacenamiento y organización de los automóviles desechados en los patrones que se asemejan coches aparcados contribuyó a esta confusión. Brownfield Industrial y áreas industriales recuperadas (incluyendo rellenos sanitarios) se identificaron claramente en los márgenes norte y sureste del área de estudio, sin embargo, a la confusión periferia urbana con las tierras agrícolas.

En otro ejemplo, la red encontró cortes de caminos existentes y los suelos expuestos creadas por proyectos de excavación para la construcción de nuevas viviendas. Además, también se detectaron manchas áridas con vegetación eliminado recientemente. Superficie impermeable, definiendo asfalto,

sobre las azoteas de ladrillo y las superficies claramente delineadas dentro de los límites de la zona de protección a boca de pozo. Las precisiones obtenidas para el problema de la protección de cabeza de pozo se han mejorado un poco. En esta prueba la resolución espacial de 2,44 m de las imágenes Quickbird multispectral proporcionado una exactitud de la detección global de 89%. Estos resultados son instructivos y implican que imágenes de resolución más fina (<3 m) es importante, sin embargo, no es suficiente por sí mismo para asegurar clasificación coherente (imágenes hiperespectrales puede ser necesaria para mejorar la discriminación característica, cuando arreglos de superficie son complejos y la composición del material de características varían.

Análisis crítico: Al unir la percepción remota con el sistema de redes neuronales, se puede determinar que este estudio, permite realizar una comprobación de los errores que se pueden cometer al identificar ambiente por percepción remota, debido a que el avance tecnológico, a pesar de haber traído avances en el desarrollo humano, también ha traído serias consecuencias en el sistema terrestre, teniendo en cuenta que ahora las interpretaciones de las diferentes zonas, acarrear graves errores por confusión. Los resultados de este estudio permiten establecer que agentes contaminantes, se pueden confundir fácilmente con disposición de recursos naturales, entrando en un inventario inexistente de recursos o lo que es peor pasando por alto, problemas que conllevan al deterioro intensivo del planeta. Este estudio tiene una importancia significativa para la identificación de recursos con un alto grado de confiabilidad en el futuro, aunque hay que denotar que este solo es un paso, puesto que hay mucho que investigar. El hecho de poder generar una red neuronal que pueda corregir los errores de percepción remota le daría un adelanto a pasos gigantes al mundo de la percepción remota.

3.1.8 Integrating spectral indices with environmental parameters for estimating heavy metal concentrations in rice using a dynamic fuzzy neural-network model.

Meiling Liu, Xiangnan Liu, Menxin Wu, Lina Xiu

Problema a tratar: Como estimar la concentración de metales pesados en el arroz que afectan la seguridad alimentaria y la salud de las personas,

Como se resuelve el problema Por medio de Una red neuronal difusa generalizada y dinámica (GDFNN), creada para estimar las concentraciones de metales pesados en el arroz mediante la integración de los índices espectrales y parámetros ambientales. Datos hiperespectrales, parámetros ambientales y contenido de metales pesados obteniendo de experimentos de campo, diferentes niveles de contaminación por metales pesados (Cu y Cd). Las variables de entrada utilizados en el modelo GDFNN se derivaron de 10 variables adquiridos por análisis relacional gris. Los modelos de evaluación de Cd y de la concentración de Cu emplearon cinco y seis variables de entrada, respectivamente. (Figura 5).

Resultados: Para mayor claridad, sólo el conjunto de entrenamiento se verificó, con cuatro modelos diferentes, en la predicción de las concentraciones de Cu y Cd, se observó que el modelo GDFNN tuvo un buen desempeño en términos del coeficiente de correlación (R^2). Por otra parte, se resumieron varios parámetros de evaluación de desempeño para todos los modelos utilizados en la estimación de Cu y Cd. De acuerdo con los cinco parámetros para evaluar el desempeño de los modelos, el modelo óptimo debe tener la RMSE más bajo, APE, y MAE, y los valores de ME y R^2 debe estar cerca de 1. el modelo óptimo para estimar la concentración de Cu fue GDFNN, con $ME = 0,923$, $R^2 = 0,9273$, $RMSE = 0,799$, $APE = 2,411\%$ y $MAE = 0,547$, mientras que el mejor modelo para estimar la

concentración de Cd era todavía GDFNN, que tenía $ME = 0,886$, $R^2 = 0,8864$, $RMSE = 579$, $APE = 0,830\%$ y $MAE = 0,325$. Además, para los cuatro modelos, la exactitud de las predicciones del modelo GDFNN siempre fue mejor que la de ANFIS, mejor que la de BP, y mejor que la de los modelos de regresión múltiple para estimar las concentraciones de Cu y Cd en el arroz. Para ilustrar la capacidad del modelo GDFNN utilizándose ampliamente.

Análisis crítico: La integración de los índices espectrales con parámetros ambientales para la estimación de las concentraciones de metales pesados en el arroz, resulta viable cuando se usa un modelo dinámico de red neuronal. Teniendo en cuenta que este estudio no fue único en un sitio particular, sino que además se realizó en sitios diferentes al inicial. El utilizar una red neuronal para predecir las concentraciones de elementos residuales o pesados en un determinado cultivo, permite replicar una metodología varias veces de tal forma que la red se pueda generalizar y con esto, obtener una herramienta optima al menos en el diagnóstico

de un cultivo en particular, así mismo se puede determinar la eficacia de la misma o la variabilidad.

4. Conclusiones

Los actuales estudios sobre redes se deberían enfocar en la obtención de una red neuronal multifuncional que se acople a diferentes ambientes, de tal forma que haya una dinamización en el desarrollo de predicciones con exactitud y un avance progresivo en el desarrollo tecnológico de la humanidad.

Un reto para un posterior estudio sobre redes neuronales en modelamiento ambiental, debería basarse en cómo hacer que una red neuronal artificial, después de que fue entrenada, desaprendiera, o pasara del objetivo, que es el sistema, a la división del mismo en sus partes iniciales, de tal manera que pueda volver a agruparse sin perder su finalidad inicial. Y desarrollara de esta manera predicciones en base a otros objetivos en lugares diferentes con el mismo propósito para lo cual fue creada.

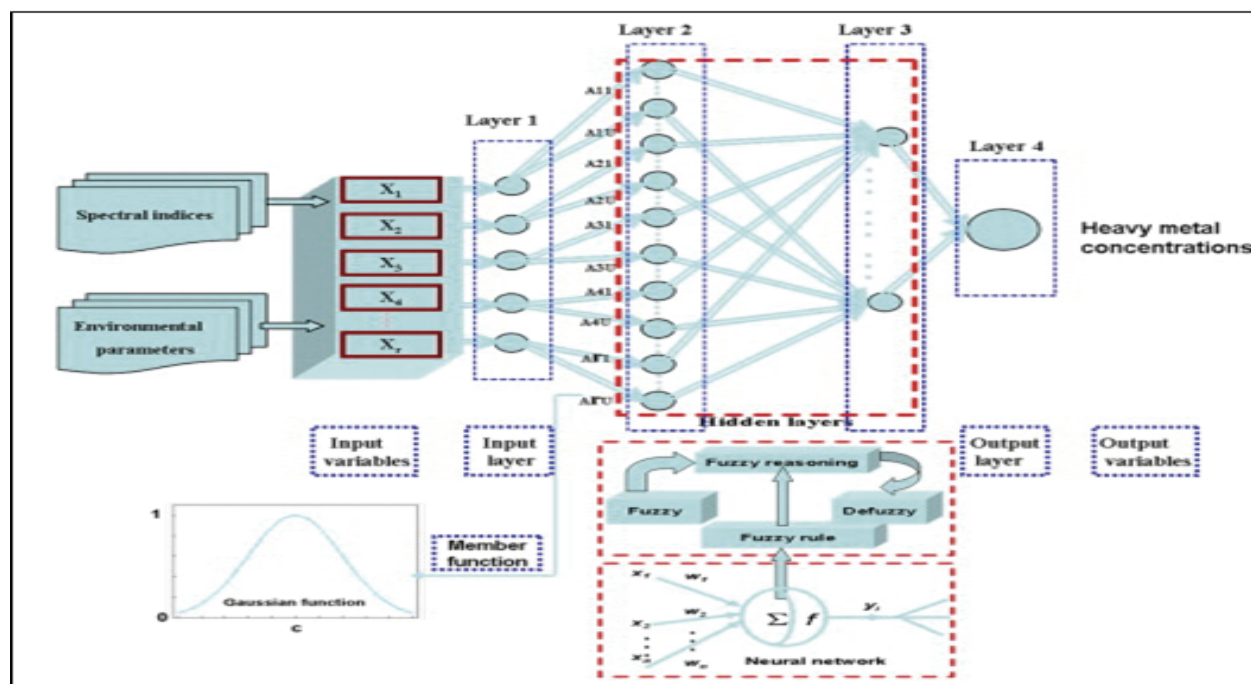


Figura 5. Diagrama de flujo general, para estimar las concentraciones de metales pesados en el arroz

Un supuesto que surge de este estudio es que una red neuronal, después de que haya aprendido y este aprendizaje se refuerce con el tiempo, su reprogramación no debe enfocarse en eliminar el aprendizaje inicial sino que, por el contrario, la reprogramación debe basarse en una nueva línea o capa alimentada con nuevas variables y presencia de datos iniciales, conservando siempre los datos generales.

Uno de los mejores artículos científicos que destaco de esta revisión de literatura son los estudios que se han realizado con percepción remota y redes neuronales, ya que con la fusión de estos, se pudieron demostrar los errores que se pueden cometer en percepción. Y puesto que en Colombia los términos de referencia sobre estudios ambientales se basan en gran parte en estos para la solicitud de licencias ambientales. Se puede determinar que cuando las intensidades de muestreo son menores del 1% en campo, los niveles de confiabilidad son muy bajos. Y si tenemos en cuenta que estos estudios son avalados por la autoridad nacional de licencias ambientales ANLA. Estaríamos ante una situación compleja, porque se estarían dando licencias ambientales con una precisión muy baja. Y teniendo en cuenta que los impactos ambientales negativos generados por el hombre han modificado el paisaje, al interpretar las imágenes satelitales se pueden cometer errores humanos significativos. Como se demuestra en el artículo científico citado.

5. Referencias bibliográficas

1. Acciani, Giuseppe et. al, 2003. A feature
2. Acosta-Cervantes et.al. Estudio de validación de un método para seleccionar técnicas de pronóstico de series de tiempo mediante redes neuronales
3. A.S. Luna et.al. Prediction of ozone concentration in tropospheric levels using artificial neural networks and support vector machine at Rio de Janeiro, Brazil. Atmospheric Environment. Volume 98, December 2014, Pages 98–10.
4. Bonfiglio, Andrea. 2011. A neural network for evaluating environmental impact of decoupling in rural systems. Computers, Environment and Urban Systems, Volume 35, Issue 1, Pages 65-76.
5. B. Widrow, M.A. Lehr. 30 years of adaptive neural networks: perceptron, Madaline, and backpropagation. Proceeding of the IEEE, 78 (1990), pp. 1415–1442.
6. Cavanaugh M.K., Buchheit R.G. Y Birbilis N. 2010. Modeling the environmental dependence of pit growth using neural network approaches. Corrosion Science, Volume 52, Issue 9, Pages 3070-3077.
7. C.M. Bishop. Neural Networks for Pattern Recognition. Oxford University Press, Cambridge, UK (2008).
8. E. Jiménez Macías et.al. Emisión Acústica y Redes Neuronales para Modelado y Caracterización del Proceso de Soldadura por Fricción Agitación. RIAI, Volume 10, Issue 4, October–December 2013, Pages 434–440.
9. F. Cook, Deborah, Zobel W., Christopher, Leigh Wolfe, Mary. 2006. Environmental

- statistical process control using an augmented neural network classification approach Original Research Article. *European Journal of Operational Research*, Volume 174, Issue 3, Pages 1631-1642.
10. Freeman, J.A.; Skapura, DM. *Redes Neuronales. Algoritmos, aplicaciones y técnicas de propagación*. México: Addison-Wesley. 1993; 306 p.
 11. J.M. Ortiz-Rodríguez et.al. A neutron spectrum unfolding computer code based on artificial neural networks. *Radiation Physics and Chemistry*. Volume 95, February 2014, Pages 428–431.
 12. L.A. Dobrzański et.al. Use of Neural Networks and Artificial Intelligence Tools for Modeling, Characterization, and Forecasting in Material Engineering. *Comprehensive Materials Processing*. Volumen 2, 2014, Pages 161–198.
 13. Lein, James K. 2009. Implementing remote sensing strategies to support environmental compliance assessment: A neural network application. *Environmental Science & Policy*, Volume 12, Issue 7, Pages 948-958.
 14. Liu, Meiling. 2011. Integrating spectral indices with environmental parameters for estimating heavy metal concentrations in rice using a dynamic fuzzy neural-network model. *Computers & Geosciences*, Volume 37, Issue 10, Pages 1642-1652.
 15. L. A. Nagasaki Costa et.al. Application of artificial neural networks in a history matching process. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. Volume 123, November 2014, Pages 30–45
 16. Negarestani A, Et. Al. 2002. Layered Neural Networks Based Analysis Of Radon Concentration and environmental parameters in earthquake prediction. *Journal of Environmental Radioactivity*, Volume 62, Issue 3, Pages 225-233.
 17. Troncone N. *Introducción a las Redes UNEXPO* Vicerrectorado Puerto Ordaz. Puerto Ordaz, Venezuela. Diciembre, 2002. pp 10-50.
 18. R. Rojas. *Neural Networks - A Systematic Introduction*. Springer-Verlag, Berlin (1996) R.A. Cottis, Q. Li, G. Owen, S.J. Gartland, I.A. Helliwell, M. Turega. *Mater. Des.*, 20 (1999), p. 169.
 19. Ruiz Alberto, Basualdo Marta. *Redes Neuronales, Conceptos Básicos y Aplicaciones*. Universidad Tecnológica Nacional. 2001; 55 p.
 20. R. Méndez Ricardo et.al. Use of Artificial Neural Networks for Prediction of Convective Heat Transfer in Evaporative Units. *Volume 15, Issue 1, January–March 2014, Pages 93–101*.
 21. T. Rodríguez García et.al. The Artificial Neural Networks to Obtain Port Planning Parameters. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Volume 162, 19 December 2014, Pages 168–177.
 22. S. Tiryaki et.al. Using artificial neural networks for modeling surface roughness of wood in machining process. *Construction and Building Materials*. Volume 66, 15 September 2014, Pages 329–335.

Diversidad de hormigas cortadoras de hojas en tres usos de suelo en la vereda El Cabuyal del Municipio de La Plata, Huila.

Diversity of leaf cutter ants in three land uses in the El Cabuyal the Municipality of La Plata, Huila.

Cristhian Oswaldo Alvarado Alvira¹
Daniel Rodríguez Acosta²

Resumen

Para la captura e identificación de la hormiga cortadora de hoja se planteó conocer la abundancia, riqueza y su analogía con los sistemas productivos agroforestal, silvopastoril y tradicional en un predio del municipio de La Plata. En cada uno de los usos de suelo identificados se creó un transecto, conformado por 10 puntos tomados al azar y cada punto separado por una distancia de 50 m; cada uno de estos puntos fue georreferenciado, ubicando 4 trampas por punto, dos de cebo y dos de caída libre, de tal forma que se ubican 40 trampas distribuidas en 3 transectos para un total de 120. De esta manera se dio aplicabilidad al protocolo Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), estableciendo trampas de caída, trampas de cebo y captura directa. En total se capturaron 5928 individuos durante 10 réplicas de los muestreos en cada sistema productivo, realizadas en los meses de abril, mayo, junio, julio y agosto de 2014. Esta labor permitió identificar tres especies de hormigas una perteneciente al género *Atta*, la especie (*Atta colombica*) y dos al género *Acromyrmex* las especies (*Acromyrmex octospinosus* y *Acromyrmex echinator*) de la familia Attini. Las curvas de acumulación de los transectos 1, 2, y 3 demostraron que el muestreo realizado fue eficaz ya que los estimadores se comportaron de forma similar. El mejor método de captura fue el de trampa de caída, tanto para determinar la abundancia como para identificar las especies. Por lo cual, este tipo de muestreo sirve como modelo aplicable para estudios puntuales sobre la hormiga cortadora de hoja en el departamento del Huila y su dinámica en los sistemas de cultivo.

Palabras clave: Hormiga cortadora, diversidad,

¹ Colombiano, Ingeniero Agroforestal, Especialista Tecnológico en agricultura específica por sitio, Instructor Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), La Plata, cristian_7@misena.edu.co, Tel 57 – 8-370987

² Colombiano, Ingeniero Forestal, candidato a Magíster en Ingeniería y Gestión ambiental, Especialista Técnico en Bioinsumos y Extractos Vegetales, Instructor Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), La Plata, danielroaco@misena.edu.co, Tel 57 – 8-370987

cultivo, sistema agroforestal, sistema tradicional, sistema silvopastoril.

Abstract

This study was carried out with the aim of identifying the abundance and analogy of the leaf cutter ant in agroforestry, silvopastoral and traditional production systems in an area of the municipality of La Plata. In several parts of the land transects were marked off, consisting of 10 points randomly located which were separated by a distance of about 50 mts; each of these points was georeferenced, placing four traps per point, two bait stations and two free fall traps, so that 40 traps spread across 3 transects for a total of 120. Thus Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) was applied. Using bait traps and direct capture 5928 individuals were captured during 10 replicates of the sampling in each production system, carried out in the months of April, May, June, July and August of 2014. This work let identify three species of ants, *Atta* which belongs to the genus, species (*Atta colombica*) and two species *Acromyrmex* gender (*octospinosus* and *Acromyrmex Acromyrmex echinator*) of the Attini family. The accumulation curves of transects 1, 2, and 3 showed that sampling was effective since estimators behaved similarly. The best method to capture ants was the free fall trap, to determine the abundance and to identify the species. Therefore, this type of sampling serves as a model applicable to specific studies on the leaf cutter ant in the department of Huila and its dynamics in cropping systems.

Keywords: Cutter Ant, diversity, culture, agroforestry, traditional system, silvopastoral system.

1. Introducción

En Colombia, la mayoría de estudios relacionados con hormigas se han llevado a cabo principalmente en el bosque seco tropical de la cuenca del río Cauca y en la región Caribe, en los cuales se han observado efectos variables de la fragmentación sobre la diversidad y composición de las comunidades de hormigas en diferentes hábitats, usando tanto grupos focales de hormigas como ensamblajes completos (Yara O. & Reinoso F., 2012)

Las hormigas cortadoras de hojas pertenecen a la tribu Attini, familia Formicidae, orden Hymenoptera. Una característica común a todas las que pertenecen a este género, es que cultivan un hongo del cual se alimentan en una simbiosis mutualista; sin embargo, las especies se distinguen en algunos aspectos, como tamaño del hormiguero y los alimentos que colectan para el cultivo del hongo (Ministerio de Agricultura, 2000).

Entre los diferentes tipos de insectos, las hormigas representan una gran relevancia ecológica debido a que actúan en diversos niveles dentro de un ecosistema (Majer 1983; Hölldobler & Wilson, 1990). Las hormigas constituyen gran parte de la biomasa de insectos del mundo por su gran abundancia y riqueza de especies, así mismo son fáciles de muestrear y su taxonomía es relativamente bien conocida, por lo que han sido utilizadas como indicadores ecológicos y de biodiversidad en sistemas naturales y perturbados (Arcila & Lozano-Zambrano, 2003; Andersen & Majer, 2004; Hoffman & Andersen, 2004).

Las percepciones y denominaciones culturales sobre insectos como la hormiga cortadora, opacan las importantes funciones que estas desempeñan en bosques naturales, como las de acelerar el ciclaje de los bioelementos, airear el suelo, diseminar semillas, promover nuevos brotes de crecimiento en los árboles, sus vertederos de desechos sirven de hábitat a

algunas especies (Della Lucia , 2003; Hölldobler & Wilson, 1990); de igual manera de mucha importancia en funciones como agente de control de algunas especies arbóreas y arbustivas y la aireación del suelo por la construcción de cámaras y túneles en el hormiguero. De igual manera, se evidencia la materialización de una sociedad eficiente a través de la organización social (castas y funciones) que continuamente se observa en las colonias de hormigas (Lewis et al. 1974).

Teniendo en cuenta la importancia de la hormiga en la dinámica de los diferentes sistemas de cultivos, se establece la identificación de las especies de hormiga en un predio del municipio de La Plata, ubicado en el Suroccidente del departamento del Huila; concretamente en las estribaciones de la Cordillera Central en las coordenadas 2°23'00" de Latitud Norte y 75° 56'00" de Longitud Oeste (Alcaldía de La Plata-Huila, 2014).

El objetivo de este trabajo es identificar la diversidad de hormigas cortadoras de hojas en diferentes usos de suelo en la finca Chicue, Vereda el Cabuyal, del Municipio de La Plata, Huila, a través de la evaluación de la abundancia y riqueza de hormigas asociadas al uso de suelo y determinar la incidencia de la hormiga en cada uso de suelo.

En este estudio se citan algunas investigaciones, como la realizada por Sanabria y Ulloa (2011), quienes realizaron un estudio para conocer la abundancia, riqueza y composición de hormigas cazadoras y su variación en los sistemas productivos del departamento de Caquetá. Para ello definieron tres ventanas productivas: la agroforestal, la silvopastoril y la tradicional. Los autores demostraron que la metodología de captura directa es la más eficiente para muestrear hormigas cazadoras en el piedemonte amazónico; su principal resultado fue definir que la riqueza de estas hormigas fue mayor en las ventanas

agroforestal y silvopastoril.

Se estima que la hormiga cortadora se ha convertido en un problema creciente para los agricultores, debido al desbalance ecológico que existe, el cual se describe en algunos niveles como son, la eliminación de los enemigos naturales como el oso hormiguero, la siembra de monocultivos, desconocimiento de métodos alternativos para el control de los hormigueros, la realización de prácticas de control aisladamente y la aplicación indiscriminada de insecticidas como Aldrín, Dieldrín, Mirex, Lorsban, Sevín, etc., (Valencia Cabrera, 2004), causas poco tenidas en cuenta y estudiadas por agricultores e investigadores del área.

El trabajo con las hormigas es interesante por la cantidad de conocimiento que puede ser generado con su estudio, principalmente en relación a su dinámica, riqueza y abundancia para una región determinada, más allá de su cultural denominación como una de las plagas más limitantes en sistemas agroforestales en Suramérica (López & Orduz, 2004). Se proyecta determinar cuál es la dinámica en las colonias de las hormigas cortadoras en diferentes coberturas vegetales y usos del suelo en una finca ubicada en la vereda El Cabuyal, municipio de La Plata.

Se aplica una metodología implementada por diferentes autores como Sanabria B. & Chacon de U. (2011) como y Fernández F. (2003), para la captura de hormigas y el procesamiento de los datos, dentro de los que se destacan el protocolo Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), trampas de caída y cebo y curvas de acumulación de especies. Estos métodos se utilizan para el estudio de todo tipo de hormigas; en este caso se aplicaron a la captura, recolección y procesamiento de información de hormigas cortadoras pertenecientes a los géneros *Atta* y *Acromyrmex*; de esta manera este trabajo busca el análisis de la dinámica de las colonias de hormigas, su ecología e interacción con el ecosistema en la búsqueda de equilibrios biológicos y mitigación del deterioro ambiental, a

través de este caso de estudio puntual.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de la dinámica y la diversidad de la hormiga, son muy importantes porque proporcionan las bases de entendimiento para el manejo de la hormiga cortadora según su especie y los cultivos asociados, minimizando el impacto sobre los dos tipos de población.

Metodología

Para la realización del estudio de identificación y dinámica de las hormigas, se seleccionaron tres usos de suelo: agroforestal (cultivo de café y cacao), tradicional (cultivo de yuca) y silvopastoril (pastos y forestales).

En cada uno de los tres usos de suelo identificados se creó un transecto, conformado por 10 puntos tomados al azar y cada punto separado por una distancia de 50 m. Cada uno de estos puntos fue georreferenciado mediante Sistema de Posicionamiento Global (GPS) como se muestra en la figura 1. Se ubicaron cuatro trampas por punto 4 trampas por punto dos de cebo y dos de caída libre, de tal forma que se ubican 40 trampas por transecto para un total de 120 trampas.

Se obtuvieron en total 30 puntos de muestreo en toda el área de estudio, distribuida en tres transectos, cada uno con 10 puntos y cuarenta trampas. Luego se procedió con la aplicación del protocolo Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) en cada punto de muestreo, marcando un monolito central de 25 cm de lado y examinó en tres estratos (a nivel del suelo hasta 20 cm de profundidad). Se ubican trampas de caída un metro al norte y un metro al sur; mientras que las trampas de cebo se localizan un metro al este y un metro al oeste., como se puede ver en la figura 2. Para un total de 120 trampas instaladas; y, captura directa durante 10 minutos/hombre alrededor del área muestreada (Sanabria Blandon & Chacon de Ulloa, 2011).

Procesos de captura:

Trampas de Caída: este método para la captura de hormigas consistió en enterrar un vaso de 10 cm de diámetro a nivel del suelo y luego se le adicionó una mezcla de 100 ml de agua, 40 gramos de jabón en polvo y 10 ml de alcohol al 70%, como se puede ver en la figura 3. Esta trampa permaneció en campo por 24 horas.

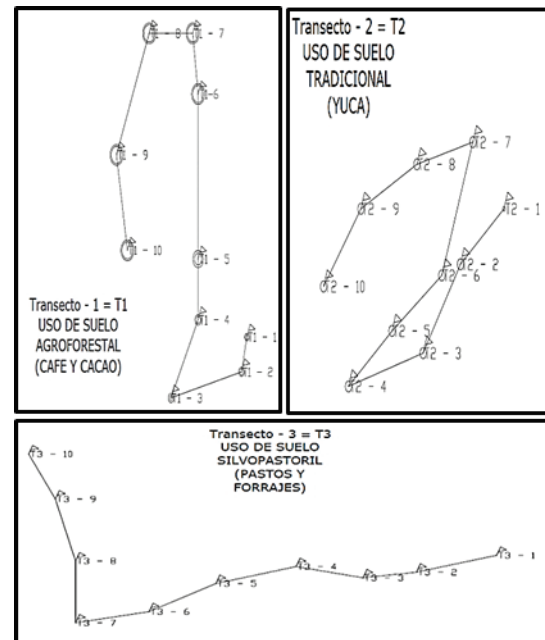


Figura 1. Ubicación de trampas por transecto



Figura 2. Protocolo TBSF - Tropical Soil Biology and Fertility

Trampas Cebo: Las trampas de cebo se diseñaron con envases de plástico que se ubicaron en los diferentes puntos de cada

transecto durante 24 horas (figura 4). A cada envase se le aplicó alcohol al 70 %, detergente y azúcar para atraer a las hormigas.



Figura 3. Trampa de caída



Figura 4. Trampa cebo

Proceso de captura directa: para tener un cubrimiento relativamente completo de la riqueza de hormigas de la zona objeto de estudio, se utilizaron hisopos de algodón los cuales se impregnaron con alcohol y se colocaron rápidamente encima de la hormigas empapándolas para paralizarlas; de igual manera se utilizaron pinzas para facilitar el acceso a sitios difíciles teniendo precaución de no lastimar los insectos durante su captura.

La recolección de la información concerniente a la captura de hormigas se realizó durante los meses de abril, mayo, junio, julio y agosto de

2014. En cada uno de estos meses se activaron las trampas en dos oportunidades por mes, para un total de diez repeticiones de los muestreos.

La identificación de las hormigas colectadas que habitan la zona objeto de investigación, se realizó mediante la observación directa. Para realizar esta labor se utilizó un microscopio digital USB y unas fichas de identificación (Universidad Nacional de Quilmes, 2004), que permitió establecer las principales características morfológicas de los insectos, lo cual a su vez facilitó la identificación de los géneros de hormiga cortadora.

Para determinar la eficacia del muestreo se utilizaron las curvas de acumulación; en este caso se utilizaron cuatro estimadores en los que se revisó la tendencia de los mismos.

Se utilizaron los siguientes índices para medir la diversidad alfa (Programa Estimates 10), en cada uno de los transectos muestreados: 1. Michaelis-Menten (MMmeans y MMRuns en el programa Stimates): el cual es un indicador que estima la riqueza de especies por muestra del total de especies. (Villareal, y otros, 2004). 2. CHAO 2 (CHAO2 en el programa Stimates), este estima el número de especies esperadas considerando la relación entre el número de especies únicas (que sólo aparecen en una muestra) y el número de especies duplicadas (que aparecen compartidas en dos muestras) (Villareal, y otros, 2004).

También se analizaron los índices de abundancia, dominancia y riqueza con relación a los tres usos del suelo. Para el análisis de estos índices se utilizó el programa InfoStat versión 2008.

Por último, se procedió a comprobar la hipótesis de que la riqueza de hormigas cortadoras es similar en los tres usos de suelo. Esto se realizó mediante análisis de Kruskal-Wallis

3. Resultados

Durante el muestreo se recolectaron 5928 individuos en los tres usos de suelo identificados para el estudio. Todos los insectos pertenecen a la tribu Attini o cortadoras de hojas. En el transecto 1, correspondiente al sistema agroforestal, se capturaron 802 hormigas; en el transecto 2, del sistema tradicional, se capturaron 1678 individuos; y en el transecto 3, del sistema silvopastoril, se capturaron 3448 hormigas. Como lo muestra la figura 5.

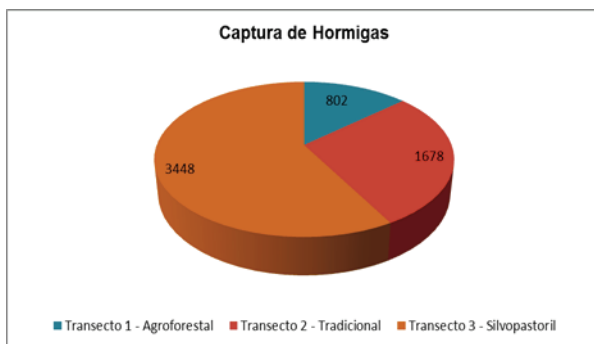


Figura 5. Hormigas capturadas por transecto en cada uso de suelo

Identificación de especies: se identificaron en total 3 especies del género *Atta*: las especies *Atta colombica* (figura 6), *Acromyrmex octospinosus* (figura 7) y *Acromyrmex echinator* (figura 8).



Figura 6. Especie de hormiga *Atta colombica*

En los transectos 1 y 3 se identificó la especie *Atta colombica* (figura 6), relacionándose de manera directa esta especie con los sistemas agroforestal y silvopastoril.



Figura 7. Especie de hormiga *Acromyrmex octospinosus*

En los transectos 1, 2 y 3, es decir en el total de los puntos muestreados de los sistemas agroforestal, tradicional y silvopastoril, se encontró la especie *Acromyrmex octospinosus*. (Figura 7)



Figura 8. Especie de hormiga *Acromyrmex echinator*

En el transecto 2 del sistema tradicional de cultivo de yuca, se encontró e identificó la especie *Acromyrmex echinator* (figura 8).

Las curvas de acumulación de los transectos 1, 2, y 3 (Figura 9) demuestran que el muestreo realizado fue eficaz, ya que al revisar la tendencia de los cuatro estimadores se puede evidenciar que estos se comportan de forma

similar.

Al analizar el estimador Michaelis-Menten (MMmeans y MMRuns en el programa Stimates): El resultado del estimador Michaelis-Menten (Mmmeans y MMRuns en el programa Stimates) en cuanto a riqueza de las especies de hormiga en los tres usos de suelo analizado, es de 1,9. El estimador CHAO 2 en el programa Stimates estima 2 especies esperadas para los tres usos de suelo. Y el estimador Bootstrap en el programa Stimates) estima una riqueza de 2 especies, para los tres usos de suelo analizados.

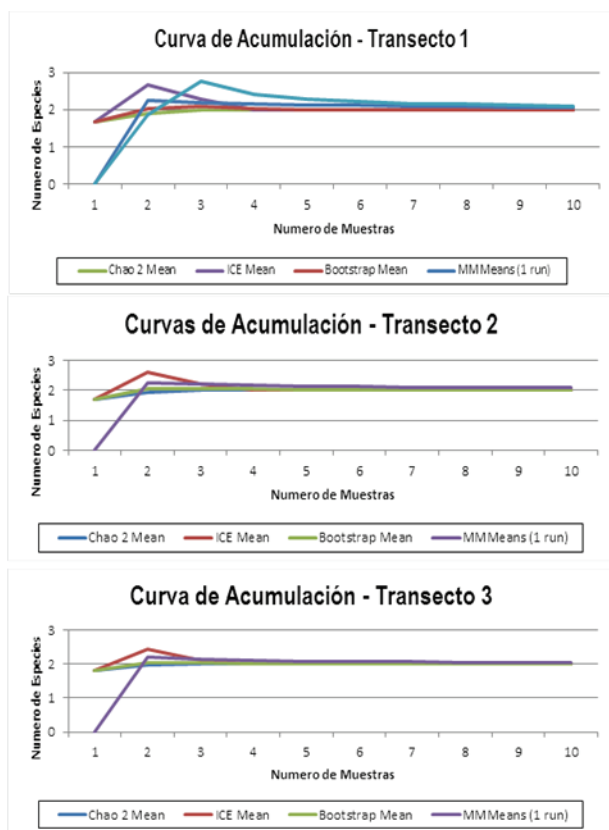


Figura 9. Curvas de acumulación Transectos 1, 2 y 3

En el uso de suelo agroforestal o transecto 1 se capturaron 802 individuos, de los cuales se identificaron 2 especies: *Acromirmex octospinosus* y *Atta colombica*. En el uso de suelo tradicional se capturaron 1678 individuos y se identificaron 2 especies: *Acromirmex octospinosus* y *Acromyrmex echinator*. Y en el uso de suelo silvopastoril se capturaron 3448

hormigas y fue posible identificar dos especies: *Acromirmex octospinosus* y *Atta colombica*. En total se capturaron 5928 insectos, como lo evidencia la tabla 1.

Tabla 1

Diversidad de especies y abundancia en los tres usos de suelo

Uso de Suelo	Especies	Nombre de las especies	Capturas X Uso de suelo
Agroforestal	2	1. <i>Acromirmex octospinosus</i> 2. <i>Atta colombica</i>	802,00
Tradicional	2	1. <i>Acromirmex octospinosus</i> 2. <i>Acromyrmex echinator</i>	1678,00
Silvopastoril	2	1. <i>Acromirmex octospinosus</i> 2. <i>Atta colombica</i>	3448,00
Total		3 especies en 3 usos de suelo	5928.00

Fuente. autores

Como se puede observar, en la figura 10 se muestra de manera gráfica la riqueza de las especies por cada uso del suelo con un valor aproximado a 2 en los tres usos del suelo, lo cual no se relaciona con la abundancia, puesto que aunque el sistema silvopastoril refleja el mayor número de individuos capturados, seguido del sistema tradicional, esta abundancia no incide en el número de especies.

Prueba de Kruskal Wallis: de acuerdo a los resultados de la prueba estadística de Kruskal-Wallis arroja ($H = 0,19$), p-valor (0,8481) con un nivel de significancia de 0,05, los resultados de los índices muestran que la riqueza de hormigas cortadoras es la misma para los tres usos de suelo (ver Tabla 2).

De los métodos de captura utilizados, el de trampa de caída fue el más eficiente al contribuir con un 52,6 % de la captura total; además, bajo este método se capturaron todas las especies identificadas. El segundo lugar fue para el método de captura directa contribuyendo con un 41,1 %; y el último fue la trampa de cebo con un 6,4 %, como se puede observar en la figura 11.

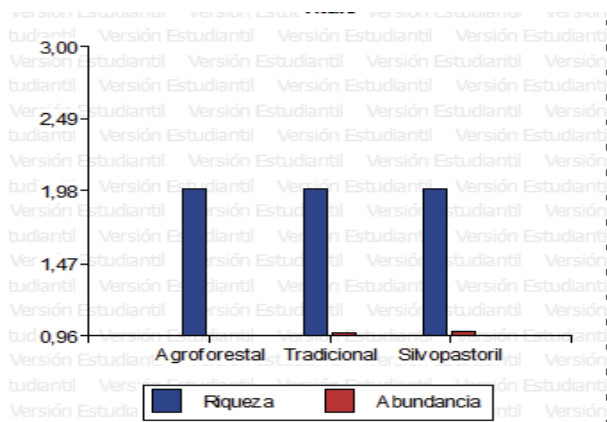


Figura 10. Comparación abundancia y riqueza por uso de suelo Infostat Versión 2008

Tabla 2
Prueba de Kruskal Wallis

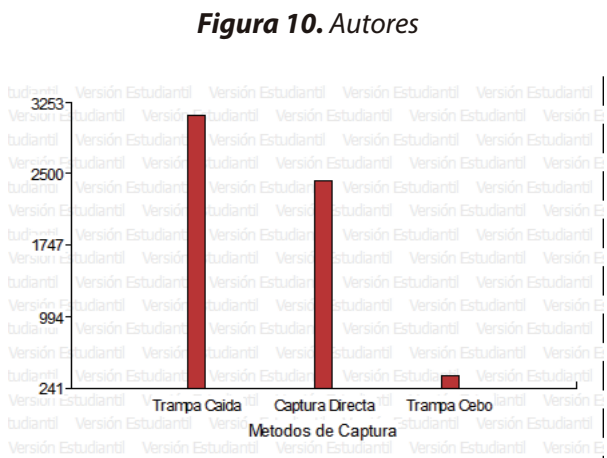


Figura 11. Eficacia de los métodos de captura

4. Conclusiones

En la zona objeto de estudio se recolectaron 5928 individuos, con una riqueza específica de dos especies de hormigas cortadoras por uso de suelo. En total se identificaron tres especies de la familia Attini, *Atta colombica* del género *Atta*; y *Acromyrmex octospinosus* y *Acromyrmex echinator*, del género *Acromyrmex*. Fue posible

establecer la similitud en la riqueza de especies de hormigas cortadoras para los usos de suelo agroforestal, tradicional y silvopastoril.

La especie de hormiga "*Acromyrmex octospinosus*" se identificó en los tres transectos, es decir que de las 3 especies identificadas esta se encuentra en toda el área de estudio: en los sistemas agroforestal, silvopastoril y tradicional. Mientras que la especie *Atta colombica* se encontró en dos transectos: el del sistema agroforestal y el del silvopastoril. En cuanto a la especie *Acromyrmex echinator*, esta solo se encontró en el sistema tradicional, específicamente en los cultivos de yuca.

Las curvas de acumulación de los transectos 1, 2, y 3 demuestran que el muestreo realizado fue eficaz, ya que al revisar la tendencia de los estimadores (MMmeans, Bootstrap, CHAO 2) se puede evidenciar que estos se comportan de forma similar. Por lo cual, este tipo de muestreo puede servir como modelo aplicable para estudios posteriores relacionados con la hormiga en predios del departamento del Huila.

En el uso de suelo agroforestal sobre el transecto 1 se capturaron 802 individuos, de los cuales se identificaron 2 especies: *Acromyrmex octospinosus* y *Atta colombica*; mientras que en el uso de suelo tradicional se capturaron 1678 individuos, identificando las especies *Acromyrmex octospinosus* y *Acromyrmex echinator*. Y en el uso de suelo silvopastoril se capturaron 3448 hormigas, identificando dos especies: *Acromyrmex octospinosus* y *Atta colombica*. Esto permite afirmar que la riqueza de especies por cada uso del suelo es de aproximadamente 2 especies en los tres usos del suelo, lo cual no se relaciona con la abundancia, puesto que aunque el sistema silvopastoril refleja el mayor número de individuos capturados, seguido del sistema tradicional, esta abundancia no incide en el número de especies.

Los resultados de la prueba estadística de Kruskal-Wallis soportan que la riqueza de hormigas cortadoras es la misma para los tres usos del suelo, es decir que estas especies no tienen preferencia para el establecimiento de sus colonias dado que es posible encontrar los dos géneros en los tres usos de suelo.

El mejor método de captura fue la de trampa de caída con un 52,6 % de la captura total, siendo el más eficiente para la determinación de todas las especies identificadas, mientras que el método de captura directa contribuyó con un 41,1 % implicando más trabajo; es así que el método menos eficiente fue el de captura con cebo, pues solo contribuyó con un 6,4 %.

La hormiga cortadora interactúa con 5 especies establecidas como cultivos: *Coffea arabica*, *Theobroma cacao*, *Manihot esculenta*, Gramineas, *Brachiaria decumbens*. Estas especies no presentaban ataques significativos por la hormiga cortadora y son los más representativos para el agricultor en términos económicos. Por lo tanto, las hormigas no representan peligro como plaga agresiva para los cultivos en esta zona de estudio.

Se observa que la zona objeto de estudio, al tener una gran variedad de riqueza vegetal, permite que los ataques no sean relevantes ya que se evidencia el impacto de la hormiga de forma rotacional y no único como sucede en los monocultivos.

Bibliografía

1. Alcaldía de La Plata-Huila. (2014). Alcaldía de La Plata, Huila. Recuperado el 22 de 01 de 2014, de <http://www.laplata-huila.gov.co/>
2. Andersen, A., & Majer, J. (2004). Ants show the way down under: invertebrates as bioindicators in land management. *Frontier in Ecology and Environment*, vol. 2, p. 291-298.
3. Ángel Maya, A. (1996). El reto de la vida. Ecosistema y Cultura: Una introducción al estudio del medio ambiente. Bogotá: Ecofondo. Arcila, A., & Lozano-Zambrano, F. (2003).
4. Crawley, M. (1997). *Plant ecology* (Second edition ed.). Oxford: Blackwell Science.
5. Della Lucia, T. (2003). Hormigas de importancia económica en la región Neotropical. En F. Fernandez, *Introducción a las Hormigas de la Region Neotropical* (págs. 337-349). Bogotá, D.C.: Instituto de Investigación de Recursos.
6. Fernandez, F. (2003). *Introducción a las de la región Neotropical*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
7. Fernandez, J., & Jaffe, K. (1995). Dano causado por populacoes de formigas *Atta laevigata* (F. Smith) em plantacoes de *Pinus caribaea* Mor. E elementos para o manejo da praga. *Annais da Sociedade*, 24, 287- 289.
8. Gobernacion del Valle del Cauca. (2005). *Biología, Manejo y Control de La Hormiga Arriera*. Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia.
9. Halffter, G. (1992). La diversidad biológica en Iberoamérica I. CYTED-D. Programa Americano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Mexico: Instituto de Ecología, A. C.
10. Herz, H., Beyschlag, W., & Holldobler, B. (2007). Smithsonian Tropical Research Institute. Herbivory rate of leaf-cutting ants in a tropical moist forest in Panama at the population and ecosystem scales, vol. 39(No. 4), p. 482-488.

11. Hoffman, B., & Andersen, A. (2004). Responses ants to disturbance. in Australia, with particular reference to functional groups. *Austral Ecology*, vol. 28, p. 444-46.
12. Hölldobler, B., & Wilson, E. (1990). *The Ants*. Cambridge: Harvard University.
13. Howard, J. (1987). Leaf cutting and diet The role of nutrients, water. *Ecology*, vol. 68(No. 3), 503-515.
14. Kopsell, E., Muschler, R., & Jimenez, F. (2001). *Funciones y Aplicaciones de Sistemas Agroforestales*. Turrialba, Costa Rica. 187 p.: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE.
15. Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los República Federal Alemana*: Instituto de Silvicultura de La Universidad de Göttingen. Eschborn: GTZ.
16. Lewis, G., Pollard, & Dibley, G. (1974). Foraging in the Leaf-Cutting Ant *Atta cephalotes* (L.) (Formicidae: Attini). *Journal of Animal Ecology*, vol. 43(No. 1), p. 129-141.
17. López, E., & Orduz, S. (2004). *Metharizium anisoplae* y *Trichoderma viride* controlan colonias de *Atta cephalotes* en campo mejor que un insecticida químico. *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. 4, p. 71-78.
18. Melo Cruz, O. A., & Vargas Rios, R. (2003). *Evaluación Ecológica y Silvicultural de Ecosistemas Boscosos*. Ibagué: CRQ-CARDER-CORPOCALDAS-CORTO LIMA.
19. Mera Jaramillo, S. (2011). Trabajo de grado análisis de manejo y percepción del impacto de la hormiga arriera (*Atta cephalotes*) sobre los habitantes del corregimiento de Pance. Valle del Cauca, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente. Cali Valle.
20. Ministerio de Agricultura. (2000). *Hormiga Arriera Biología, Ecología y Hábitos*. Choco, Colombia.
21. Montoya L., J., Chacon de Ulloa, P., & Manzano, M. (12 de 2006). Caracterización de nidos de la Hormiga Arriera *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Myrmicinae) en Cali (Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*, 32(2).
22. Sanabria Blandon, M., & Chacon de Ulloa, P. (2011). Hormigas cazadoras en sistemas productivos del piedemonte amazónico colombiano: diversidad y especies indicadoras. *Acta Amazónica*, 41(4), 503 - 512.
23. Universidad Nacional de Quilmes. (26 de 9 de 2004). Guía para la identificación de las hormigas cortadoras de la provincia de Buenos Aires. Recuperado el 20 de 07 de 2014, de http://www.blueboard.com/leafcutters/keys/pdf/buenos_aires_argentina_province.pdf
24. Valencia Cabrera, A. (2004). *La Hormiga Arriera Cartilla*. La Plata, Huila: Servicio Nacional de Aprendizaje SENA - Especialidad Agrícola.
25. Yara O., C., & Reinoso F., G. (2012). Hormigas cazadoras (Ectatomminae y Ponerinae) en fragmentos de bosque seco. *Revista Colombiana de Entomología*, 38(2).

Simulación y modelación de la producción de sedimentos en dos escenarios dominantes de ocupación de suelo en la cuenca hidrográfica del río Coello

Simulation and modeling of sediment production in two key areas of land occupation in the hydrographic basin of the Coello river

Mairalejandra Ramírez Cuenca¹

Daniel Rodríguez Acosta²

Resumen

Este estudio se realizó con el objetivo de analizar el comportamiento de la cuenca hidrográfica del río Coello bajo condiciones únicas de ocupación de suelo y, a partir de la información obtenida, contribuir a la ordenación de la misma. Se parte de los resultados obtenidos en un estudio de la producción de sedimentos de esta cuenca en el periodo 1988 -2007 (línea base), en primer lugar se crearon 2 escenarios de cobertura de suelo, posteriormente se tuvieron en cuenta las 22 áreas de cada subclase de uso y ocupación actual, las cuales fueron modificadas formando para el estudio 10 unidades de uso de suelo, que se distribuyeron por las 16 subcuencas, las 12 unidades que no se involucran, contribuyen a la suma de áreas de las dos ocupaciones de suelo objeto de estudio. Al escenario uno Es 1, se le asignó el 91,76 % para pastos naturales, y al escenario dos Es 2, el 91,76 % del área para bosques. Esta información se llevó al modelo de simulación hidrológica SWAT, en donde se simularon los datos para el periodo 1988 -2007, obteniendo como resultado, que aunque los dos escenarios presentan valores por debajo de la línea base. El Es 2 con mayor porcentaje en cobertura de bosques, es un 63% más eficiente, que el Es 1, en cuanto a la retención de suelo. Las 16 subcuencas fueron modeladas determinando la susceptibilidad a los procesos de sedimentación, donde los bosques presentaron la mayor regulación de los sedimentos. Con la información obtenida en este estudio se recomienda una segunda fase de investigación de simulación y modelación en un periodo de tiempo futuro de 20 años.

Palabras clave: Cuenca hidrográfica, modelación,

¹ Colombiana, Ingeniera Forestal, instructora Servicio Nacional de aprendizaje (SENA), La Plata, mramirez292@misena.edu.co, Tel 57 – 8-370987

² Colombiano, Ingeniero Forestal, candidato a Magíster en Ingeniería y Gestión ambiental, Especialista Técnico en Bioinsumos y Extractos Vegetales, Instructor Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), la Plata, danielroaco@misena.edu.co, Tel 57 – 8-370987

ocupación de suelo, simulación, sedimentación.

Abstract

This study was conducted in order to analyze the behavior of the hydrographic basin of the Coello river, under conditions of unique occupation of land, in order to obtain information and manage it, based on the results obtained in a study of sediment production in this hydrographic basin, in the period 1988 -2007 (baseline). Two land cover areas were created, taking into account the 22 areas of each subclass of use and current occupation, which were modified by forming 10 units of land use for this study and distributed by 16 sub-basins, the 11 units that are not involved, contribute to the sum of areas of the two occupations of land. To land area one (1) 91.76 % was assigned for natural pastures, and for area two (2), the 91.76 % was assigned for forest area. This information was taken to the SWAT hydrological simulation model, where data were simulated for the period 1988 -2007.

The results show that, although the two scenarios have values below the baseline, the area 2 (Is 2) has a greater percentage forest cover is 63 % is more efficient than the (area 1), in terms of soil retention. The 16 sub-basins were modeled, determining susceptibility to sedimentation processes, where forests had the highest sediment regulation, with the information obtained in this study a second phase of simulation and modeling research is recommended in a future time period of 20 years.

Keywords: catchment, modeling, land occupation, simulation, sedimentation.

1. Introducción

El río Coello nace en el cono del Nevado del

Tolima en la cordillera Central con el nombre del río Toche; y al llegar al corregimiento del mismo nombre recibe las aguas del Río Tohecito, que sirve de límite entre los municipios de Ibagué y Cajamarca. El río Toche desciende desde los 3.600 m s.n.m. hasta 2.150 m s.n.m.; recorre 9.8 km aproximadamente con una pendiente media de 18 %, donde empieza a ser denominado río Coello y continúa su recorrido descendiendo hasta los 1.400 m s.n.m. con una longitud aproximada de 17.9 km y una pendiente media del cauce de 5.4 %. En límite con Ibagué recibe las aguas del río Bermellón y sigue su recorrido hasta llegar al río Magdalena. (Plan de Ordenamiento Territorial, Ibagué).

La forma de abordar el estudio se realizó a través de una cuenca, debido a que esta última constituye una unidad física completa donde la entrada es la precipitación y las salidas son el escurrimiento y el sedimento, sin dejar a un lado del proceso la influencia de la vegetación, suelo y topografía. El problema de trabajar con cuencas lo representa el uso y manejo de grandes volúmenes de información, su análisis y la posterior toma de decisiones. Para ayudar a resolver esta situación, se utilizan sistemas computacionales los modelos matemáticos de simulación hidrológica Torres, et al. (2001).

Las medidas tendientes a mejorar las condiciones ambientales, a fin de conservar el recurso hídrico y disminuir la producción de sedimentos en la cuenca, se pueden obtener mediante un análisis y comparación de alternativas de manejo e implementación de un modelo hidrológico que permita medir el impacto que se genera en caudales y sedimentos. Por eso en este estudio se analizaron los resultados de un cambio de cobertura por un uso de suelo dominante, para lo cual se determinaron dos escenarios (el escenario 1, pastos; y el escenario 2, bosques) frente a una línea base de datos reales obtenidos en la cuenca del río Coello para el periodo 1988 - 2007. Es así que se identifica

cómo un cambio en la cobertura vegetal puede producir cambios significativos en la reducción de la sedimentación o en el aumento de la misma.

Estimar la producción de sedimentos para el territorio de una cuenca hidrográfica es importante para tomar decisiones respecto a las formas de apropiación y uso de los recursos agua – suelo. Por esta razón los modelos de simulación hidrológica son herramientas útiles en la predicción de procesos erosivos, entendiéndose como objetivo primario de la modelación, entender y comprender diversos procesos que ocurren en un sistema natural y tan complejo como lo es la Cuenca hidrográfica.

El modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) es un modelo matemático a escala para el estudio de cauces, ríos y cuencas hidrográficas, desarrollado por el Dr. Jeff Arnold para el United States Department of Agriculture (USDA); con la finalidad de evaluar el impacto que tienen las diferentes prácticas de manejo de suelos sobre la producción de agua, complejas cuencas hidrológicas, con diferentes usos y tipos de suelos, así como sus diversos manejos durante largos periodos de tiempo. Uribe (2010)

Procesos erosivos en la cuenca

Remoción en masa: cuando el deslizamiento se produce directamente sobre una de las márgenes de una corriente natural, el material deslizado se deposita sobre el lecho obstruyendo el paso libre del agua. Pero a medida que pasa el tiempo el mismo flujo de agua se encarga de transportar el material aguas abajo, parte como carga de fondo y parte en suspensión. Si los deslizamientos se producen lejos de las corrientes de agua, entonces solamente una parte del material puede llegar a las corrientes por erosión hídrica Silva (2002).

Erosión hídrica: Puede ser analizada

comenzando por la desagregación de las partículas de suelo debido al impacto de las gotas de lluvia. La energía cinética de las gotas de lluvia puede lanzar las partículas del suelo al aire durante el impacto. En terrenos a nivel, las partículas se dispersan más o menos uniformemente en todas las direcciones, pero en un terreno con pendientes habrá un transporte neto hacia abajo. Si durante el proceso ocurre flujo superficial, las partículas removidas serán transportadas aún más abajo antes de ser depositadas de nuevo en la superficie (Linsley 1986).

La producción anual de sedimentos en una cuenca depende de muchos factores tales como el clima, el tipo de suelo, el estado de la cobertura vegetal, la topografía y la existencia de embalses. La lluvia, como uno de los elementos que integran el clima, representa mucha energía; a mayor intensidad de lluvia, mayor es la energía que será transmitida al terreno. La lluvia tiene entonces, según su intensidad y duración, una determinada capacidad erosiva. En cuanto a la topografía, la tasa de erosión es mayor en pendientes altas que en pendientes suaves. Mientras más pendiente tenga un talud, más efectiva será la acción del agua en erosionar y transportar el sedimento pendiente abajo.

Las velocidades del flujo superficial son también mayor en taludes muy inclinados, y los movimientos masivos del suelo son igualmente más frecuentes en terrenos de taludes pronunciados Linsley (1986). Otro de los factores que determina la tasa de producción de sedimentos en una cuenca, es el suelo.

Cubero (1996) considera que las condiciones de los suelos determinan su susceptibilidad a la erosión. El autor plantea un enfoque desde el punto de vista de la textura y de la estructura del suelo, y explica que los suelos con alto contenido de limo son muy susceptibles a la erosión por motivo de la impermeabilización del limo en los poros del suelo, lo que hace que la capacidad de

infiltración disminuya generando mayor escorrentía superficial y causando daños erosivos.

Según Silva (2004), para predecir la degradación o erosión de los suelos se han desarrollado numerosos modelos, algunos de ellos son simples ecuaciones que calculan el promedio anual de erosión en la desembocadura de una cuenca. Otros son modelos complejos que simulan la erosión diaria, los cuales pueden aplicarse continuamente para calcular la erosión promedio en el largo plazo, además de las probabilidades de sus distribuciones.

Pueden usarse varios modelos cuantitativos empíricos para calcular la erosión total laminar y en surcos en un segmento de pendiente, entre ellos: la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Universal Soil Loss Equation, USLE; Wischmeier y Smith (1978); el método Onstad Foster (AOF), Onstad y Foster (1991); y la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelos (Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE). Todos ellos son modelos de parámetros agrupados que utilizan información promedio sobre suelos, cultivos, pendientes y manejo para un segmento de pendiente.

Desde el punto de vista de la estructura del suelo, se considera que las estructuras del tipo masiva y bloques grandes fuertes son las que ofrecen mayor resistencia al impacto de las gotas de lluvia y al arrastre de las partículas por la escorrentía superficial. Su análisis incluye la cobertura del suelo; en ese sentido, se tiene en cuenta que la interceptación de la lluvia y la reducción de la velocidad del agua juegan un papel primordial en la protección del suelo contra la erosión. Distintas coberturas vegetales proveen distintos grados de protección, de tal manera que el hombre podría controlar en gran parte la erosión en las áreas forestales y agrícolas, escogiendo adecuadamente el uso y el manejo de la tierra.

Sedimentación: los sólidos perdidos o sedimentos hacen referencia al suelo que se pierde por acción de la erosión hídrica, el suelo es desprendido por el golpe directo de las gotas de agua lluvia y por la fricción del agua de escorrentía. El suelo desprendido es transportado por los flujos superficiales hasta los canales de drenaje, por donde sale de la cuenca o se deposita en estos mismos.

Producción de sedimentos: en cuencas de zonas de montaña o con pendientes pronunciadas la producción de sedimentos se puede dividir básicamente en dos fuentes asociadas a distintos fenómenos: la erosión superficial generalizada del suelo y los procesos de remoción en masa en sitios puntuales. Estos procesos influyen en los problemas de inundaciones, en los fenómenos de colmatación de embalses y pueden promover cambios en la morfología fluvial que, a su vez, afectan los aspectos ambientales.

Los sedimentos producidos por erosión superficial están asociados principalmente al fenómeno de destrucción del suelo por el impacto directo de las gotas de lluvia y el posterior transporte por escurrimiento superficial. Se trata de un proceso que presenta una cierta continuidad temporal asociada a eventos hidrológicos ordinarios característicos de la cuenca, y que puede relacionarse con el régimen de lluvias. En cambio, los sedimentos producidos por remoción en masa -como los deslizamientos de laderas, colapso de márgenes, flujos de barro, flujos de detritos, etc.-están relacionados con la inestabilidad hidrogeológica de la cuenca y se vinculan con eventos hidrológicos extremos; por lo tanto, no presentan la continuidad temporal que muestran los primeros.

Recientemente estimar la producción de sedimentos en cuencas ha recibido una gran atención en diversas partes del mundo. Esto se debe al acelerado proceso de sedimentación que varias presas han sufrido en los últimos

años Verstraeten y Poesen (2000); lo cual se asocia al cambio de uso del suelo y a los probables efectos del cambio climático sobre el régimen de lluvias. En virtud de lo anterior se desconoce cómo se verá afectado el régimen de escurrimientos y cómo este afectará el funcionamiento de la infraestructura existente.

La producción de sedimentos en cuencas está íntimamente ligada al proceso de erosión de la misma. En efecto, esta se incrementa con la deforestación; consecuentemente la concentración de sedimentos suspendidos también crece Stott y Mount (2004), los cuales se depositan en el fondo de los cauces, elevando su nivel, aumentando significativamente el riesgo de inundaciones Kramer et al. (1997). Si bien no todo el sedimento se asienta sobre los ríos, una buena parte de material es transportado aguas abajo hasta llegar a los almacenamientos o al mar. Esto ocasiona que las presas se colmaten de sedimentos, disminuyendo su vida productiva. Manson (2004).

Tabla 1. Áreas y porcentajes de cada subclase de uso y ocupación del suelo en la cuenca del río Coello. Fuente: Castro (2012)

Código	Clase y Subclase	Símbolo	Área		Código	Clase y Subclase	Símbolo	Área	
			Ha	%				Ha	%
1	Territorios Artificializados				3.2.	Pastos y	Par	93	5,17
1.1	Zonas urbanas	Zu	2001,6	1,1	3.2.	Pastos manejado	Pm	17	9,69
1.2	Instalaciones	Ir	107,85	0,0	3.2.	Pastos naturales	Pn	11	6,08
1.3	Zona Militar	Zm	38,78	0,0	3.2.	Pastos - rastrojo	Prs	12	6,62
2	Territorios Agrícolas				3.2.	Rastrojo	Ra	11	6,52
2.1	Cultivos anuales	Cat	16474,	9,0	3.2.	Vegetación de	Vp	96	5,32
2.2	Cultivos	Csp	2218,1	1,2	3.2.	Vegetación	Vr	12	0,07
2.3	Mosaico de	Mc	4787,2	2,6	3.3	Áreas abiertas y con poca vegetación			
2.4	Mosaico de							17	
	cultivos, pastos y	Mv	16900,	9,3	3.3.	Afloramiento	Af	71	0,97
	espacios		97	0	1	rocoso		,1	
3	Bosques y Áreas Seminaturales				3.3.	Áreas abiertas	Aa	17	0,10
3.1	Bosques				2	sin vegetación		9	
3.1.	Bosque protector	Bpd	15559,	8,5	3.3.	Tierras	Td	75	0,42
3.1.	Bosque	Bpt	37947,	20,	3.3.	Zonas de nieves	Zn	47	0,26
3.2	Áreas con vegetación herbácea y arbustiva				4	Superficies de agua			
3.2.	Arbustos y	Am	10710,	5,9	4.1	Lagos	Lg	32	0,02
1	matorrales		27	0					

En la tabla 1 se aprecian las áreas y porcentajes de cada subclase de uso y ocupación del suelo en la cuenca del río Coello, con sus respectivos símbolos. Esta tabla fue el insumo para determinar los valores reales de la línea base, y para definir los escenarios 1 y 2 mediante la modificación de las coberturas vegetales, para luego ser simuladas en el periodo de tiempo 1988 - 2007 mediante simulación hidrológica en SWAT y modeladas en ArcGIS.

2. Metodología

Este estudio se realizó para la cuenca del río Coello en el departamento del Tolima. (Figura 1).

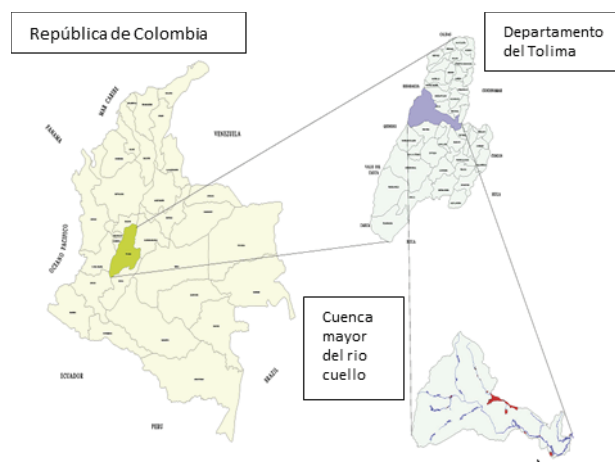


Figura 1. Localización general de la cuenca mayor del río Coello

Este estudio se hizo en base en una serie de investigaciones desarrolladas a nivel de maestría Ocampo y Ramírez (2012) y doctorado Castro, (2012). Estos trabajos permitieron generar la línea base necesaria para el desarrollo de este documento en cuanto a la determinación de sedimentos en la cuenca hidrográfica del río Coello bajo dos escenarios de cobertura de suelo diferentes: Es 1 Pn y Es 2 Bpd.

Los materiales necesarios para llegar al desarrollo del estudio de la línea base generada por Ocampo y Ramírez (2012), con el objetivo de determinar los sedimentos de la cuenca del río Coello en el periodo 1988 a 2007, y que se tuvieron en cuenta para modelar los dos escenarios de este estudio son los siguientes:

- Datos de mediciones de estaciones meteorológicas y climatológicas. (IDEAM 2007)
- Modelo digital de elevación (DEM) Cuenca Coello.
- Software ArcGIS v. 9.3, desarrollado por Environmental Systems Research Institute (ESRI), Redlands, CA, EUA
- Software Extensión ArcGIs Spatial Analyst v. 9.2. e 3D Analyst v. 9.2, desarrollado por ESRI, Redlands, CA, EUA
- Software SWAT versión 2005, desarrollado por Blackland Research Center da Texas Agricultural Experiment Station e USDA Agricultural Research Service, EUA.

Teniendo en cuenta las condiciones iniciales de las áreas y porcentajes de cada subclase de uso y ocupación del suelo en la cuenca del río Coello, se procede a realizar la modificación de ocupación del suelo para generar las coberturas del escenario 1 y 2, partiendo de 22 tipos de cobertura (ver Tabla 1). Estas coberturas se modifican y solo se dejan 10 tipos, donde 9 conservaron los valores reales (Tabla 2), (Zu, Ir, Zm, Bp, Vr, Af, Td, Zn, Lg).

Al escenario 1 se le asignó el 91,76% de ocupación de suelo en pastos naturales Pn y al escenario 2 el 91,76 % en bosques Bpd. Este último porcentaje se genera de la suma de las 11 unidades de uso de suelo que no participan en las tablas modificadas (ver Tabla 3).

Luego se procedió a suministrar los datos en el modelo de simulación hidrológica SWAT, previamente calibrado. Y se obtuvo la información de salida, en datos numéricos. Estos se utilizaron como insumo para alimentar las tablas y gráficas y facilitar los respectivos análisis

Por medio de la extensión ArcGis, se generaron los mapas de cobertura, y los mapas de la dinámica de la sedimentación en el periodo 1988 a 2007 para el escenario 1 y 2.

3. Resultados

En la Tabla 2 se ubican las clases de uso de suelo seleccionadas para el escenario 1 donde los pastos naturales Pn reemplazan el área de las 12 unidades que se eliminan del estudio real representando estos el 91.76 % de la cobertura de la cuenca hidrográfica, las demás unidades conservan sus valores originales.

Tabla 2. Modificación de cobertura escenario 1

Clase y Subclase	Símbolo	Área	
		Ha	%
Zonas urbanas	Zu	2001,62	1,10
Instalaciones recreativas	Ir	107,85	0,06
Zona Militar	Zm	38,78	0,02
Vegetación de páramo	Vp	9665,94	5,32
Vegetación rupícola	Vr	127,63	0,07
Afloramiento rocoso	Af	1771,19	0,97
Tierras degradadas	Td	759,72	0,42
Zonas de nieves o glaciár	Zn	470,17	0,26
Lagos	Lg	32,48	0,02
Pastos Naturales	Pn	166694,48	91,76

En la figura 2 se representa la cuenca hidrográfica del río Coello bajo el escenario 1, en donde el uso de suelo dominante son los pastos naturales en las 16 subcuencas. De igual forma se pueden apreciar las demás clases de ocupación de suelo, con excepción de las zonas urbanas Zu, las instalaciones recreativas Ir y los lagos debido a Lg que se consideran permanentes y estables.

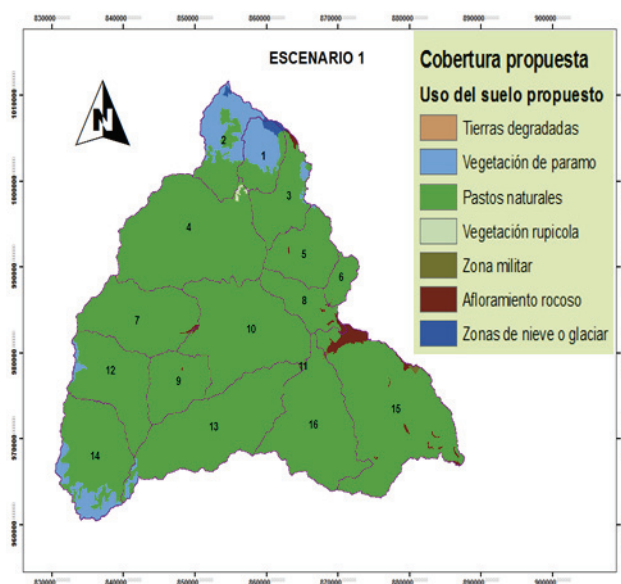


Figura 2. Cobertura de suelo modificada para el escenario 1

En la tabla 3 se ubican las clases de uso de suelo seleccionadas para el escenario 2. Allí se observa que los Bosques naturales Bpd, toman el área de las 11 unidades que se eliminan del estudio real, siendo este el 91.76% de la cobertura de la cuenca hidrográfica del río Coello; las demás unidades conservan sus valores originales.

En la figura 3 se representa la cuenca hidrográfica del río Coello bajo el escenario 2, donde la ocupación de suelo dominante corresponde a bosques naturales Bpd. De igual forma se pueden apreciar las demás unidades de la Tabla 3 con excepción de las zonas urbanas Zu, las instalaciones recreativas y los lagos debido a que se consideran permanentes y estables.

Tabla 3. Modificación de coberturas Escenario 2.

Clase y Subclase	Símbolo	Área	
		Ha	%
Zonas urbanas	Zu	2001,62	1,10
Instalaciones recreativas	Ir	107,85	0,06
Zona Militar	Zm	38,78	0,02
Vegetación de páramo	Vp	9665,94	5,32
Vegetación rupícola	Vr	127,63	0,07
Afloramiento rocoso	Af	1771,19	0,97
Tierras degradadas	Td	759,72	0,42
Zonas de nieves o glaciar	Zn	470,17	0,26
Lagos	Lg	32,48	0,02
Bosques	Bpd	166694,4	91,76
		8	

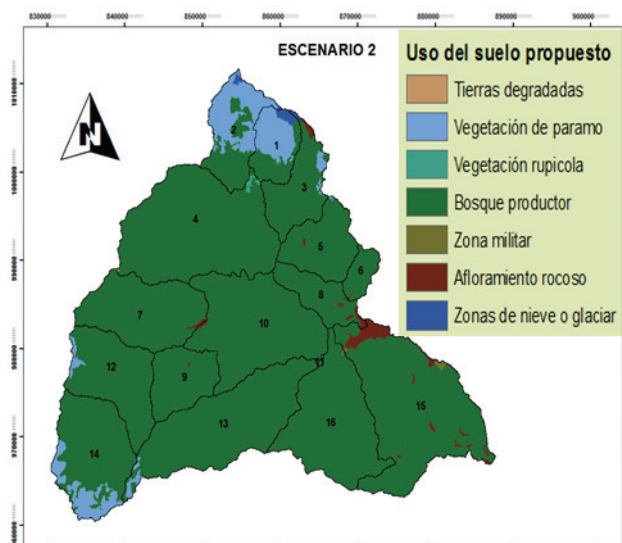


Figura 3. Cobertura de suelo modificada para el escenario 2.

En la figura 4 se registran los valores obtenidos de las diferentes salidas del modelo en la simulación realizada para la línea base y el escenario 1, en el periodo 1988 – 2007. Aquí se puede observar que la línea base (Lb) en todos los años, está por encima del escenario 1, se puede apreciar que en el año 1988 es donde se nota la diferencia significativa en la producción de sedimentos con un aporte de 92 toneladas. En los años 1997 y 2001 la cantidad generada de sedimento es muy similar. La cantidad total de aporte de sedimentos en el periodo 1988 -2007 para la línea

bas fue de 1334,88 toneladas; mientras que en el escenario 1 fueron 959,5 toneladas, es decir que si la cuenca hidrográfica hubiera tenido una cobertura de pastos naturales dominantes del orden del 91,76 % de ocupación de área, se hubiera disminuido en 357,37 toneladas la pérdida de suelo.

En la figura 5 la línea base (Lb) está por encima del escenario 2 Es 2 en todos los años 1998 es el año en que más se puede apreciar una diferencia significativamente alta de 106,68 toneladas en la producción de sedimentos. La cantidad total de aporte de sedimentos en el periodo 1988 - 2007 para Lb fue de 1334,88, mientras que en el Es 2 fue de 693,04 toneladas, es decir que si la cuenca hubiera tenido una cobertura de bosques del

orden del 91,76 % de ocupación de área, se hubiera disminuido 641,78 toneladas en la pérdida de suelo.

En la Tabla 4 se puede apreciar que el escenario 2 (bosque) es el que mayor variación presenta frente a los sedimentos que se producen en la línea base y en el escenario 1. Se muestra un porcentaje mensual de variación frente a los pastos del 23,33% puesto que los bosques disminuyen en mayor proporción la producción de sedimentos en las cuencas hidrográficas; debido a que cubren más los suelos y estos no son susceptibles a presentar procesos de erosión mensual frente a la línea base de 44,55 % (Tabla 7), lo cual ratifica que los bosques son mejor opción de cobertura frente a los pastos

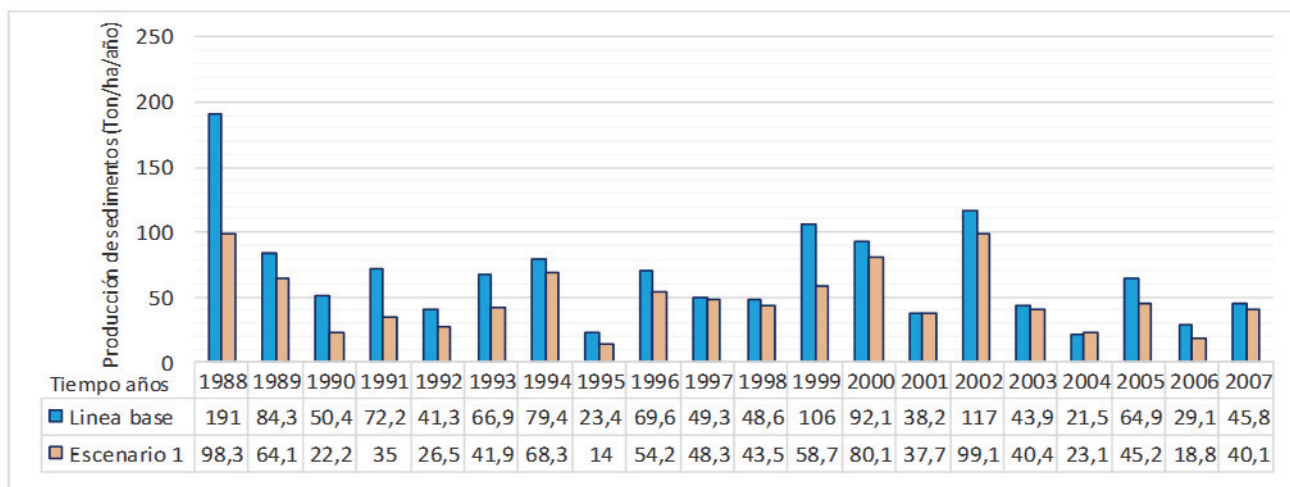


Figura 4. Promedio de producción de sedimentos anual en la línea base y el escenario 1. Cuenca río Coello

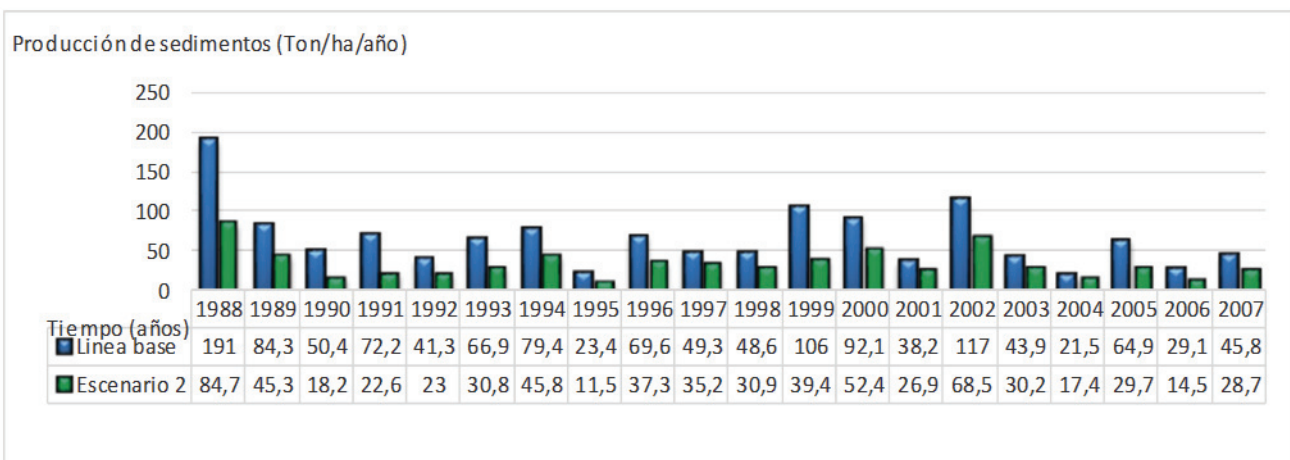


Figura 5. Promedio de producción de sedimentos anual en la línea base y el escenario 2. Cuenca río Coello.

del 23.33% puesto que los bosques disminuyen en mayor proporción la producción de sedimentos en las cuencas hidrográficas; debido a que cubren más los suelos y estos no son susceptibles a presentar procesos de erosión mensual frente a la línea base de 44.55 % (Tabla 7), lo cual ratifica que los bosques son mejor opción de cobertura frente a los pastos que tan solo varían mensualmente en un 23.33 %.

Tabla 4. Promedio de sedimentos y variación porcentual respecto a (Lb) y los escenarios 1 y 2.

Producción de sedimentos	LINEA BASE (Lb) 1988-2007	ESCENARIOS			
		Es1	Variación %	Es2	Variación %
Promedio Sedimentos Ton/Ha/año	66.74	47.97	28.12	34.65	48.07
Promedio Sedimentos Ton/Ha/mes	5.23	4.01	23.33	2.90	44.55

En la figura 5 se puede observar que los escenarios 1 y 2 producen menos sedimentos que la línea base. Partiendo de Lb en 66,74; Es 1 28,12, y Es 2 34,65. Siendo así que el más eficiente es el Es 2, cobertura de bosque, con un porcentaje de eficiencia en la disminución de sedimentos del 63 % mientras que Es 1 del 37 % con respecto a los sedimentos que se producen en Lb. Por lo tanto las coberturas del bosque en una Cuenca con un porcentaje del 91,76 % resultan ser la opción más viable para disminuir la pérdida de suelos.

Analizando los valores de sedimentos para los percentiles 10 %, 50 % y 90 % se observa que el primer percentil en la Lb presenta una producción de sedimentos de 13 Ton/Ha; en el escenario 1 esta producción disminuye a 11.1, lo cual indica que estos se reducirán en 14.6 %.

Para el percentil 50 se tiene 2.6 Ton/Ha en la Lb y 1.4 en el (Es 1), reduciendo un 46.2 % la producción de estos. Finalmente en el percentil 90, donde se presentan las épocas de menor lluvia, los valores de sedimentos son de 0.5 y 0.21 respectivamente, indicando que la reducción de sedimentos es aún mayor con un 58 %, lo cual permite concluir que los sedimentos se disminuirán a lo largo del tiempo en la Cuenca. (Tabla 5).

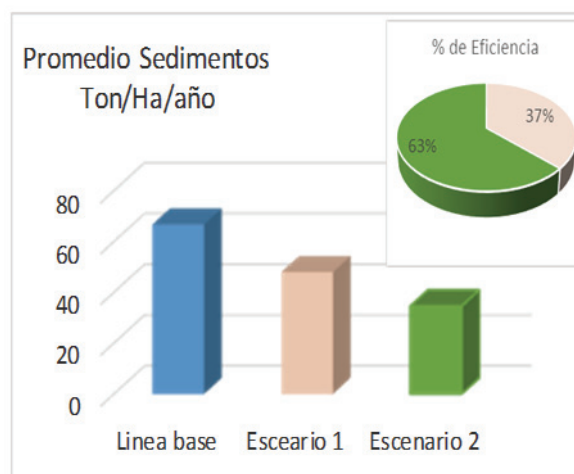


Figura 6. Promedio de sedimentos anual de la línea base y los escenarios 1 y 2.

Tabla 5. Producción de sedimentos en valores absolutos y porcentuales en la línea base (1988-2007) y escenarios propuestos para este periodo.

Escenario	SEDIMENTOS								
	Ton	10% Ton	%		50% Ton	%		90% Ton	%
Línea Base 1988	13				2.6			0.5	
Escenario 1	11.1	1.9	14.6	1.4	1.2	46.2	0.21	0,29	58
Escenario 2	9.5	3.5	26.9	1.2	1.4	53.8	0.2	0.3	60

En el escenario 2 se observa que los sedimentos se reducen mucho más que en el escenario 1, presentándose de tal forma una variación del 26.9 % para el percentil 10 frente a la línea base,

al observar el percentil 50, la reducción se incrementa y alcanza el 53.8 %. Finalmente en el percentil 90, en épocas de sequía la disminución de los sedimentos alcanza el 60 %. Es importante resaltar que las condiciones del escenario 2 son mejores para controlar de esta manera la erosión que se puede generar con el pasar del tiempo para la Cuenca. Ver figura 7.

sedimentos son 6, 8, 9, 15 y 16 los cuales presentan una alta variación respecto a la línea base. La subcuenca 16 es la mayor aportante de sedimentos con 467.6 Ton/Ha) frente a 267.25 Ton/Ha que se producen en la línea base, es decir que presenta un porcentaje de variación del 74.97 %. Esto indica que el escenario 1 elevaría significativamente la producción de

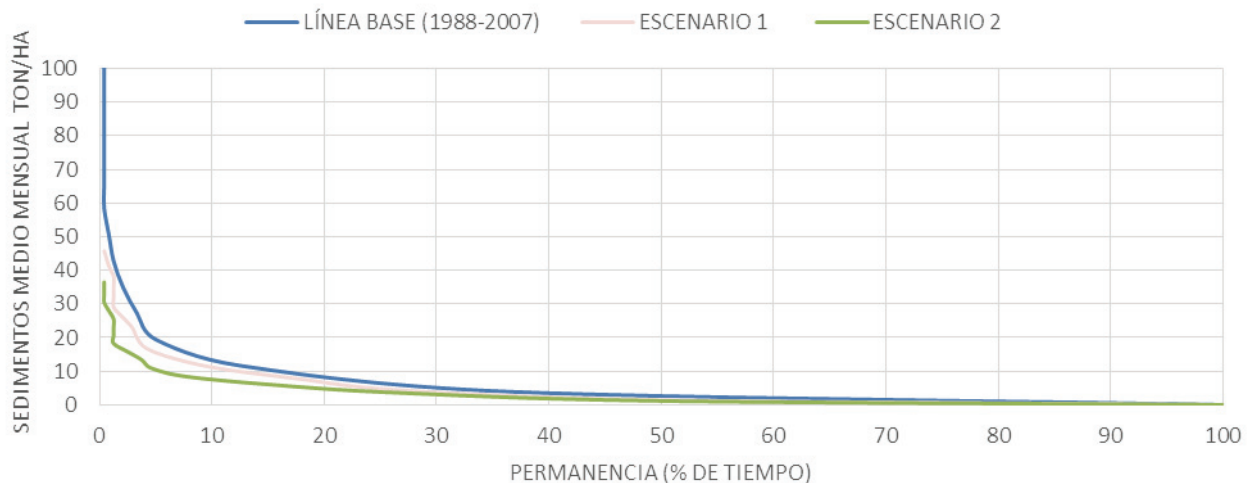


Figura 7. Curva de permanencia de producción de sedimentos en la línea base (1988-2007) y escenarios 1 y 2

En cuanto a la producción de sedimentos, en la Figura 8. Se registran los valores de las salidas del modelo de simulación hidrológica SWAT, para 16 subcuencas, en la simulación realizada para las líneas base 1988 - 2007 y escenarios propuestos para la Cuenca del río Coello. Al comparar los valores, es notorio que los sedimentos producidos en el escenario 1 para el periodo 1988 - 2007 se mantienen por encima de la línea base y los escenarios propuestos en la mayoría de las subcuencas. Las subcuencas 5, 8, 9, y 16 en la línea base son las mayores aportantes de sedimentos presentes en la cuenca, debido a que tienen mayor proporción de cobertura agrícola y tierras descubiertas.

En contraste, la producción de sedimentos en las subcuencas 3, 4 y 14 es bastante baja debido a la presencia de una alta cobertura boscosa en la línea base. Analizando el escenario 1 se observa que las subcuencas de mayor aporte de

sedimentos en la Cuenca. Al observar la subcuenca 5 los resultados de sedimentos muestran que estos se reducen en un 27.97 % para el escenario 1 frente a la línea base, teniendo en cuenta que la cobertura que presenta la línea base para esta subcuenca es de mosaico de cultivos; esto hace que en esta subcuenca los sedimentos se produzcan con mayor severidad.

Diferentes estudios afirman que cuando la cobertura vegetal disminuye, aparentemente los caudales aumentan. Esto se debe que el agua que ingresa a la subcuenca como precipitación se infiltra en menores cantidades y, por lo tanto, no existe almacenamiento. En su lugar el agua fluye arrastrando mayores cantidades de sedimentos que aceleran los procesos erosivos del suelo. El incremento de la producción de sedimentos en el escenario 1 se debe a que al aumentar las zonas en pasto estas

responden de manera más rápida a las altas precipitaciones, lo cual produce valores altos de escurrimiento superficial y grandes cantidades de sedimentos.

En el escenario 2 los sedimentos se reducen en las 16 subcuencas frente a la línea base; al comparar estos valores con los resultados obtenidos en el escenario 1, los sedimentos disminuyen para toda la cuenca. En las subcuencas 11, 12, 13 y 14 los sedimentos casi que son nulos. El escenario 2, que presenta el 91,76% de su cobertura en bosque, proporciona gran capacidad de almacenamiento de agua para las subcuencas, siendo esta una de las razones por las cuales los sedimentos en este escenario se reducen significativamente, estrategia ideal para amortiguar las lluvias ya que la cobertura boscosa reduce el impacto de

las gotas, retarda el escurrimiento superficial y permite que el agua se mantenga más tiempo sobre la superficie creando la oportunidad para que ocurra la infiltración.

La representación gráfica de los procesos de sedimentación de las 16 subcuencas de la cuenca hidrográfica del río Coello para el escenario 1 se representa en la figura 9; allí se ubican 8 categorías por colores que representan la cantidad de sedimentos en toneladas por hectárea. Por su parte, el escenario 2 se representa en la figura 10.

Se puede ver de manera clara que el impacto ambiental negativo es más significativo en el escenario 1; el color azul evidencia la mayor distribución en la producción de sedimentos. Siendo así que la cobertura de bosques es la que

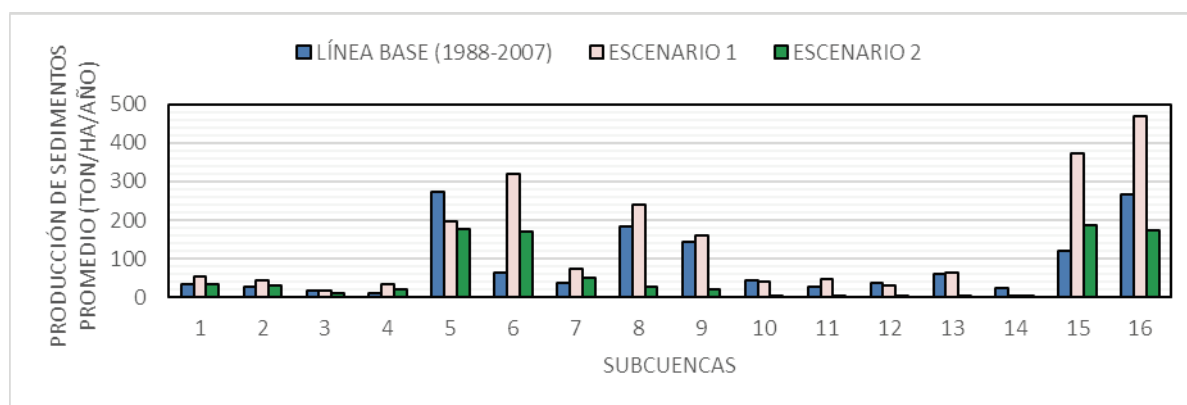


Figura 8. Distribución de la producción de sedimentos en la línea base (1988-2007) y escenarios propuestos.

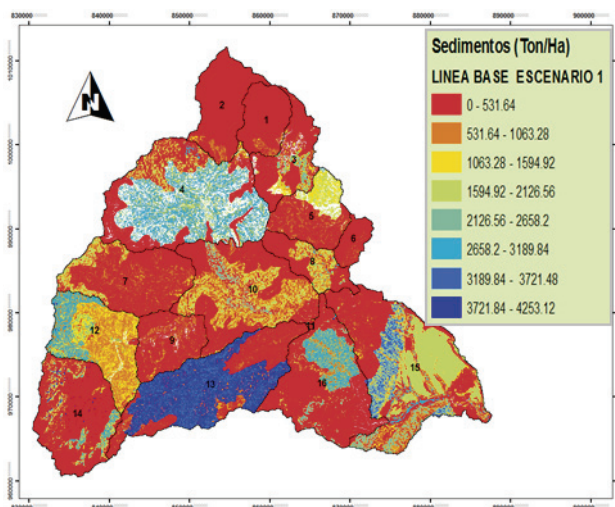


Figura 9. Distribución de la producción de sedimentos en el escenario 1. (1988 -2007).

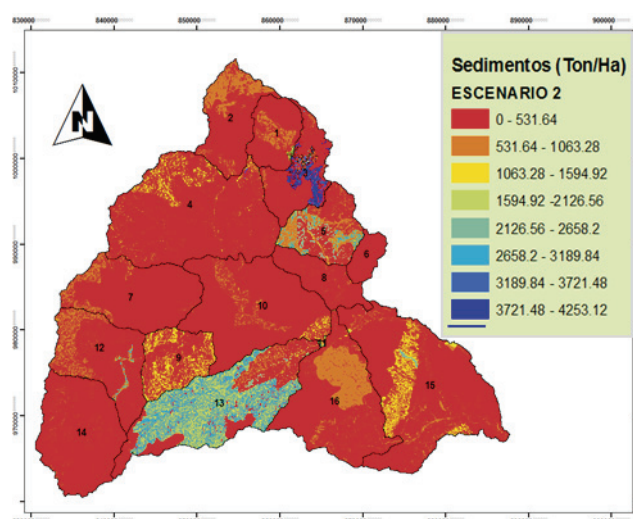


Figura 10. Distribución de la producción de sedimentos en el escenario 2. (1988 -2007).

refleja la menor pérdida de suelos.

4. Conclusiones

La importancia de conocer el efecto causado en las cuencas hidrográficas por la variación del uso de la tierra sobre la producción de sedimentos, es un factor muy importante a la hora de tomar decisiones sobre el manejo y ordenamiento de las mismas.

La simulación con el modelo SWAT en la cuenca hidrográfica del río Coello muestra resultados que favorecen la condición propuesta en el escenario 2 bosques para el periodo 1988 - 2007, ya que existe una reducción en la producción de sedimentos, lo cual demuestra la importancia de incentivar el cuidado y mantenimiento de los bosques presentes en la cuenca con el fin de mitigar la degradación de los suelos.

El modelo SWAT presenta una gran ventaja y es la de interactuar con los sistemas de información geográfica y el uso de mapas digitales, características que hacen más fácil el despliegue y análisis de los datos de salidas para las posteriores aplicaciones y toma de decisiones. Tales interacciones permiten desarrollar diferentes escenarios que representen condiciones reales permitiendo poder fijar de manera objetiva y práctica decisiones de manejo que conlleven a reducir los sedimentos en la Cuenca.

La aplicación del SWAT con los SIG permite la espacialización de los resultados y la visualización de dónde y cuándo ocurre la producción de sedimentos, de tal forma que se puedan generar medidas de conservación para controlar de manera efectiva la pérdida de sedimentos en las Cuencas.

Los SIG funcionan como una herramienta muy importante para la modelación de pérdida del suelo, puesto que analizan la variabilidad espacial del potencial erosivo de la cuenca teniendo como

base la influencia de factores como tipo de suelo, uso de la tierra, precipitación, relieve, entre otras.

Las alteraciones en el uso y ocupación de los suelos son un parámetro fundamental para diferenciar la producción de sedimentos en la cuenca y a su vez en las subcuencas. Esta característica aliada a otros factores tales como precipitación, relieve, tipo de suelo sirve para analizar sobre el manejo adecuado que se le debe dar a los suelos para influir en su preservación. El establecimiento de escenarios de uso y ocupación de los suelos fue un ejercicio interesante y sirve como modelo para practicar manejos alternativos que ayuden a reducir el impacto de la influencia antrópica en la cuenca.

Esta investigación propone identificar el papel actual de las decisiones que se deben tomar sobre el cambio de uso de suelo desde el punto de vista de la sostenibilidad del recurso agua, considerado desde un enfoque de provisión de servicios hidrológicos y los efectos que el cambio climático puede tener sobre las amenazas actualmente existentes.

Al comparar los resultados de producción de sedimentos en la línea base 1988-2007 con el escenario 1 y 2 a nivel de subcuencas, se observa que los sedimentos se incrementan en un 151.98 % para el escenario 1 y disminuyen en un 66.04 % para el escenario 2. Lo cual indica que al cambiar la mayor parte de la cobertura por pasto en el escenario 1, se favorece el incremento de sedimentos, situación que nos lleva a pensar que las áreas en donde se encuentran pastos actualmente pueden empezar a ser tratadas para controlar la erosión y así evitar la degradación de los suelos. A diferencia de lo que se genera con el escenario 2 que es la disminución de los sedimentos, lo cual afirma que los bosques son muy útiles a la hora de tratar de disminuir la tasa de producción de sedimentos.

Las subcuencas que produjeron mayor cantidad de sedimentos en la línea base 1988-2007 son aquellas en las que se presenta mayor cantidad de vegetación agrícola y de pastizales.

La modelación hidrológica es una herramienta fundamental en el manejo, planeación y aprovechamiento de los recursos hídricos, ya que muestra de forma cuantificable los puntos o causas de posibles problemas que pueden afectar una región desde el punto de vista del recurso hídrico.

La generación de diversos escenarios de cobertura vegetal en la cuenca dio la posibilidad de observar cómo influye de manera notoria el cambio de la cobertura vegetal en la respuesta hidrológica de la cuenca, y así analizar la producción de sedimentos.

Se debe continuar con la investigación en el área de modelamiento hidrológico, utilizando periodos de tiempo a futuro, de tal forma que se utilicen los resultados de este estudio como línea base para seguir creando escenarios que generen información pertinente que sea útil para la formulación de los planes de ordenación de las cuencas hidrográficas, de tal manera que pueda contribuir con el desarrollo sostenible del país.

Referencias bibliográficas

1. Aldana Dezzio, A. y Bosque Sendra, J. (2008). Cambios ocurridos en la cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata. Mérida-Venezuela. Período 1988-2003. Revista GeoFocus, N° 8, pp. 139-168. ISSN: 1578-5157.
2. Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S. And Williams, J.R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development, Journal of the American WaterResources Association, p. 73-89.
3. Arnold, J. G.; Fohrer, N. SWAT 2000: (2005) current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. Hydrological Processes, v. 19, p. 563-572.
4. Aylrwal, C., G. M. Green, J. Morgan Grove, T. P. Evans C. M. Schweik (2002), A review and assessment of land-use change models: dynamics of space, time, and human choice, General Technical Report NE-297, USDA, Forest Service.
5. Baldissera, G. C. Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a bacia hidrográfica do rio Cuiabá/MT. (2005). Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, p. 148.
6. Batchelor, P. (1994). Models as metaphors: The role of modeling in pollution prevention. Waste Management, v. 14, n.3, p.243-251. Beskow S., C. R. Mello, L. D. Norton, N., Curi, M.R. Viola, J.C. Avanzi, (2009). Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modelling, National Soil Erosion Research Laboratory, Purdue University, USA.
7. Brovkin V, S Sitch, W Von Bloh, M Claussen, E Bauer et al. (2004) Role of land cover changes for atmospheric CO2 increase and climate change during the last 150 years. Global Change Biology 10: 1253-1266.
8. Bruijnzeel, LA. (2004). Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?. In Agriculture, Ecosystems and the Environment. No.104. 185-228. (en Línea) Disponible en: www.elsevier.com/locate/agee

9. Castro, Fernando Mauricio (2012). Simulação tropical forests: not seeing the soil for the trees?. In Agriculture, Ecosystems and the Environment. No.104. 185-228. (en Línea) Disponible en: www.elsevier.com/locate/agee
10. CEPAL (Comisión Económica Para América Latina y el Caribe). (2002). El impacto socioeconómico y ambiental de la sequía de 2001 en Centroamérica. 68p.
11. Chaplot, V. (2005) Impact of DEM mesh size soil map scale on SWAT runoff, sediment, and NO₃-N loads predictions. Journal of Hydrology, v. 312, p. 207-222.
12. Chow, V; Maidment, D; Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada. Bogotá, Colombia. Marta Edna Suárez, eds. 584p.
13. Collischonn, W. (2001). Simulacao hidrológica grandes bacias. Tese (Douctorado em Engenharia de Recursos Hidricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul/RS.
14. Confesor JR, R. B. e Whittaker, G. (2007). Sensitivity analysis and interdependence of the SWAT model parameters. ASABE Annual International Meeting, Technical Papers 2007a. p. (2007 ASABE Annual International Meeting, Technical Papers).
15. CORTOLIMA, Documento diagnóstico Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Ibagué, Año 1998-2000.
16. Cubero, D. 1996. Manual de manejo y conservación de suelos y aguas. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica, 278 pp.
17. Defries RS, L Bounoua & Gj Collatz (2002) Human modification of the landscape and surface climate in the next fifty years. Global Change Biology 8: 438-458.
18. Duque, Ana. (1993). Estudio de estimación evapotranspiración por los modelos Penman y Penman Monteith en la Cuenca de Piedras Blancas, Antioquia.
19. Eckhardt, K.; Haverkamp, S.; Fohrer, N.; Frede, H. G. (2002). SWAT – G, a version of SWAT99.2 modified for application to low mountain range catchments. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, v. 27, n. 9-10, p. 641-644.
20. Epa. (2001). Sistema de software para EPA. BASINS versión 3.0. Agency Fact Sheet Better Assessment Science Integrating Point Sources. CD.
21. Etter, A.; Willem, Wyngaarden, (2000), Patterns of landscape transformation in Colombia with emphasis in the Andean Region. Ambio (in press). CIIG-FEAR-PUJ, 1999.
22. Foley Ja, R Defries, Gp Asner, Gc Barford, G Bonan et al. (2005) Global consequences of land use. Science 309: 570-574.
23. Fuentes C. (2009). Evaluación socio-ambiental de los efectos de la variación en la escorrentía superficial derivada del proceso de urbanización en la Cuenca de Macul, entre 1975 – 2007. Memoria para optar al Título de Geógrafo, Universidad de Chile, 99 págs.
24. Gleick, PH. (2000). Agua: las consecuencias potenciales de la variabilidad y el cambio climático en los recursos hidráulicos de los Estados Unidos.

25. Gottschalk, L.; Motovilov, Y. (2000). Macro-scale hydrological modeling – a Scandinavian experience. In: International Symposium on: 'Can science and society save the water crisis in the 21st century - reports from the World', Tokyo. Anais... Tokyo: Japan Society of Hydrology and Water Resources, p.38-45.
26. Guo, Z; Xiao, X; Li, D. (2000). An assessment of ecosystem services: water flow regulation and hydroelectric power production. *Ecological Applications*.10:3, 925-936 p
27. Haan. C.T.; Johnson, H.P.; Brakensiek, D.L. (1982). Hydrologic Modeling of Small Watersheds. ASAE, pp. 297-370.
28. Hernández, A. (2003). Dinámica del uso de la tierra y de la oferta hídrica en la Cuenca del Río Guacerinque, Tegucigalpa, Honduras. Thesis Mag. Sc. Turrialba CR. CATIE. 112 p.
29. Heidenreich, L.K., Y.Zhou., and T. Prato. (1996) Watershed scale water quality impacts of alternative farming systems. Proceedings of Watershed '96, Moving Ahead Together Technical Conference and Exposition, June 8-12, Baltimore, Maryland, p.105-108.
30. Hewlett, J. D. (1982). Principles of Forest Hydrology. Athens: The University of Georgia, 183p.
31. Holdridge, LR. (1987). Ecología basada en de vida, IICA, San José (CR). 216 p.
32. Houghton Ra, JL Hackler & KT Lawrence The US carbón budget: Contributions from land-use change. *Science* 285: 574-578.
33. IGAC. (1997) Estudio general de suelos y tierras para la zonificación del departamento del Tolima Instituto Geografico Agustin Codazzi.
34. Kramer, R.A.; Richter, D.D.; Pattanayak, S. y Sharma N.P. (1997). Ecological and economic analysis of watershed protection in Eastern Madagascar. *Journal of Enviromental Management*, Vol. 49, p. 277-295.
35. Lambin EF, BL Turner, HJ Geist, SB Agbola, A Angelsen et al. (2001) The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions* 11: 261-269.
36. Leguía Hidalgo, E. J. (2006). Identificación de bosques importantes proveedores de servicios ecosistémicos para la generación de hidroelectricidad en Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 110 p.
37. Lino, J. F. de L. (2009). Análise da dinâmica hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do rio Preto (SC) com o modelo SWAT. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 150 p.
38. Linkie, M.; Smith, R. J. y Leader-Williams, N. Mapping and predicting deforestation patterns in the lowlands of Sumatra. *Biodiversity and Conservation*, 2004, vol. 13, núm. 10, pp. 1809-1818.
39. Linsley, R K; Kohler, M A; Paulhus, J L. (1986). Hidrología para ingenieros. Traducido al español por CETIH, Universidad de los Angeles, Bogotá, Colombia. 2 ed. Mxico, D.F. 386 p.

40. Lin, Z.; Radcliffe, D, E. (2006). Automatic calibration and predictive uncertainty analysis of a semi-distributed watershed model. *Vadose Zone Journal*, 5: 248-260.
41. Locatelli, B. (2006). Vulnerabilidad de los bosques y sus servicios ambientales al cambio climático. Documento de respaldo para la primera reunión del Proyecto TroFCCA (Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático). CIRAD-CATIE. 4p.
42. Lopez, E. y Bocco, G. (2006). Cambio de cobertura vegetal y uso de suelo. [en línea]: <http://www.oikos.unam.mx/laboratorios/geoecologia/PDF/CAMBIO/2USODELSUELO.PDF>>
43. Machado, R. E. (2002). Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. 154 p.
44. Maidmendt, DR. (1993). GIS and hydrological modeling. In Goodchild, MF; Parks, BO; Steayert, LT. Eds. *Environmental modeling with GIS*. New York, US, oxford University press. P 147-167.
45. Manson, R.H. (2004). Los servicios Hidrológico la Conservación de los Bosques de México. *Madera y Bosques* 10(1):3-20.
46. Matson Pa, Wj Parton, Ag Power & Mj Swift (1997) Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* 277: 504-509.
47. Mello, C.R. de; Vlola, M. R.; Norton, L. D.; Silva, A. M.; Acerbi JR, F. W. (2008). Development and application of a simple hydrologic model simulation for a Brazilian headwater basin. *Catena*, v. 75, p. 235-247.
48. Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press. Washington. DC. 155 p
49. Myers N (2003) Biodiversity hotspots *BioScience* 53: 916-917
50. Myers N, R Mitterneier, C Mitterneier, Gb Da Fonseca & J Kents (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
51. Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., And Williams, J. R. (2005). *Soil and Water Assessment Tool – Theoretical Documentation*, Version 2005. Texas, USA.
52. Ocampo Luis Augusto, Ramírez Luis Enrique, (2012). Determinación de la Producción de Sedimentos, Bajo Escenarios de Cambio Climático en la Cuenca Hidrográfica del Río Coello, Departamento del Tolima, Ibagué.
53. Olson Dm & E Dinerstein (2002) The Global Priority ecoregions for global conservation. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 89: 199-224.
54. Onstad C., A. and Foster G., R. "Erosion over Watershed". *Trans. Asae In: Am. Soc. Aaric. Ena*. Vol. 18, N° 2 (1975); p. 288-292.
55. Puentes, S.H.N.; Fernandes, I.V. (2002). Atualizacao do método das isozomas para a regio amazônica. *Anais do VIII Encontro de Iniciacao Cientifica e Pós-graduacao do ITA*. Sao Paulo/SP

56. Raghuwanshi, N.S.; Singht, R. y Reddy, L.S. (2006). Runoff and Sediment Yield Modeling Using Artificial Neural Networks: Upper Siwane River, India. *Journal of hydrologic Engineering ASCE/ January/February* , pp. 71-104.
57. Restrepo, J. y Syvitski, J. Assessing the effect of natural controls and land use change on sediment yield in a mayor andean river: The Magdalena drainage basin, Colombia. *Ambio*. 2006, vol. 35, núm. 2, pp. 65-74.
58. Ryszkowski, L. y Jankowiak, J. Development of agricultura and its impact on landscape functions. En *Landscape ecology in agroecosystems management*. Boca Raton: CRC Press, 2002, pp. 9-28.
59. Santos, C. A. G.; Suzuki, K.; Watanabe, M.; Srinivasan, V. (2004). Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, n. 1, p. 92-96.
60. Santos, R.C. (2002). Clasificacao textural aplicada a cobertura do solo de uma bacia hidrográfica usando sensoriamento remoto. *Dissertacao (Maestrado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro*, 153 p.
61. Sharpley, A.N., And J.R. Williams. (1990). EPIC Erosion/Productivity Impact Calculator. USDA, Agricultural Research Service, Technical Bulletin No. 1768, Washington, D.C., USA.
62. Silva, J. M. A. (2002); Modelo Hidrológico Para Modelo Hidrológico Para o Cálculo do Balanço Hídrico e Obtenção do Hidrograma de Escoamento Superficial em Bacias Hidrográficas: Desenvolvimento e Aplicação. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduaçãoem Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Vicos.
63. Silva, G. (2004). Erosión pluvial y transporte de sedimentos en ríos.
64. Soutworth, J. y Tucker, C. The influence of accessibility, local institutions, and socioeconomic factors on forest cover change in the mountains of western Honduras. *Mountain Research and Development*, 2001, vol. 21, núm. 3, pp. 276-283.
65. Southgate, D;Macke,R. (1989). The Benefits of Soil Conservation in Third World Hydroelectric Watersheds. In *Land Economics* 65(1): 38-48.
66. Srinivasan, R.; Arnold, J. G. (1994). Integration of a basin scale water quality model with GIS. *Journal of the Americam Water Resources Association*, v. 30, n. 3, p. 453-462.
67. Stott, T. y Mount, N. (2004). Plantation Forestry Impacts on Sediment Yields and Downstream Channel Dynamics in the UK: a Review. *Progress in Physical Geography* 28,2 pp. 197-240.
68. Torres-Benites E., Fernandez-Reynoso D. S., Oropeza-Motta J.L., y Mejia-Saenz E. (2004). Calibración del modelo hidrológico SWAT en la Cuenca “El Tejocote”, Atlacomulco, Estado de Mexico. *Terra Latinoamericana* 22:437-444
69. Verstraeten, G. y Poesen, J. (2000). Estimating

efficiency of small reservoirs and ponds: methods and implications for the assessment of sediment yield. *Progress in Physical Geography* 24,2. Pp. 219-251.

70. Verstraeten, G., & Poesen J. (2001c). Factors controlling sediment yield from small intensively cultivated catchments in a temperate humid climate. *Geomorphology* , 40, 123–144.
71. Vignola, R. (2006). Importancia de los bosques para la adaptación de la sociedad al cambio climático. Documento de respaldo para la primera reunión del Proyecto TroFCCA (Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático) Grupo cambio global, CATIE. 4p
72. Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. *Agriculture Handbook* 537. United States Department of Agriculture. Science and Education Administration. 58 pp.

TRATAMIENTOS PARA LA REMOCIÓN DE CROMO (VI) PRESENTE EN AGUAS RESIDUALES.

Methods for removal of Chromium (VI) from wastewater.

Oscar Fabián Artunduaga Cuellar¹

Resumen

Se realizó una revisión bibliográfica; de los diferentes sistemas y métodos convencionales y utilizados en el tratamiento de aguas residuales contaminadas con Cromo (VI). Con el fin de evaluar y analizar las diferentes alternativas planteadas desde la ciencia y la industria, en cuanto a la eficacia con respecto a la remoción de este tipo de metal pesado, así como sus ventajas y desventajas.

Actualmente y debido a la importancia que se le ha dado a la remoción de los compuesto tóxicos para el ambiente y la salud; se han implementado tratamientos eficientes y menos costosos que a través del usos de sustratos o sistemas biológicos, permiten la eliminación de contaminantes inorgánicos de forma más sencilla y eficiente.

Dentro de la investigación, se logró determinar que estas tecnologías toman un papel preponderante, actualmente el método más implementado y por consiguiente que destaca entre muchos es el de la remoción del Cromo hexavalente, implementando bioadsorbentes, puesto que, se logran remociones significativas e importantes del metal pesado a escala de laboratorio.

Palabras clave: Remoción de Cromo, adsorbentes, Agua residual industrial, Tratamiento terciario

Abstract

The removal of toxic compounds has gained importance in the health and environmental field. Treatment methods, obtained from biological systems, to remove toxic compounds have been implemented for being efficient and low cost alternatives for

¹ Ingeniero Ambiental. Estudiante Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, Instructor Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Centro de Desarrollo Agroempresarial y Turístico del Huila Calle 6 con carrera 7 Esquina . La Plata, Huila Colombia.
ofac18@hotmail.com

eliminating inorganic pollutants.

A literature review about unconventional and conventional systems as well as the different methods implemented in waste-water treatment contaminated with chromium (VI) was performed. The different alternatives offered by academia and industry were evaluated and analyzed in terms of the efficiency in the removal of Chromium. Its advantages and disadvantages were also assessed.

The results show that technologies based on biological systems take a leading role today. The most relevant and studied method for removal of hexavalent chromium is the one that uses biosorbents, given the significant results in removal of heavy metals in a laboratory scale.

Keywords: Chromium Removal, adsorbents, Waste water, tertiary treatment

1. Introducción

La actividad industrial y minera supone una preocupación importante para la Salud Pública, por la toxicidad que causa el desarrollo de estas y por la amplia variedad de fuentes de exposición, al arrojar al ambiente metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, arsénico, cromo, entre otros, dañinos para la salud humana y para la mayoría de formas de vida como lo indica Bermeo, (2009).

Colombia no es ajena a esta problemática, por ejemplo, en la extracción de oro artesanal que se realiza en el bajo Cauca antioqueño, se están vertiendo aproximadamente 67 ton/año de mercurio a ríos y arroyos, con los respectivos daños que este supone a la salud y a los ecosistemas, tal como lo refiere Colombia Minera (2011). Investigadores como Alzate, A. (2008) advierte que más del 90% de pequeñas y medianas industrias de curtiembres, hacen vertimientos de sus efluentes contaminados con cromo, sin

ningún tipo de tratamiento; contaminando fuentes hídricas a lo largo y ancho del territorio nacional; ocasionando daños a la salud y el ambiente.

Las fuentes habituales de aguas residuales que contienen grandes concentraciones de cromo hexavalente; compuesto químico considerado como cancerígeno; proceden principalmente de la industria de limpieza de metales, recubrimiento, curado, refinado de fosfato y bauxita, generación de cloro, fabricación de baterías y curtiembres (Alonso J, 2008).

El cromo y en general los metales pesados ejercen efectos biológicos que son perjudiciales para la mayoría de organismos; razón por la cual han sido catalogados como una clase emergente de cáncer en humanos (Farajzadeh M. y Monji M., 2004). Además de considerarse como un alérgeno, produce irritación cutánea, y daño en el ADN.

Elevadas concentraciones de algunos de estos elementos en el ambiente o en determinados procesos pueden desencadenar una serie de problemáticas que van desde la degradación y pérdida de fertilidad de suelos (Kizilkaya et al., 2004; Arias et al., 2005), hasta afectar procesos de tratamiento de aguas residuales. (Quiñones, et al, 2014), puesto que inhiben la acción metabólica de los microorganismos utilizados en la descontaminación de los recursos naturales (agua, suelo y aire) degradados por actividades antropogénicas.

La contaminación por cromo y el impacto en la salud pública, ha conducido al hombre a buscar alternativas para resolver este problema, utilizando métodos tradicionales (Ahalya, et al, 2005) como son: Osmosis inversa, electrodiálisis, ultrafiltración, intercambio iónico y precipitación química; pero el alto costo de los métodos convencionales llevó al desarrollo de alternativas tecnológicas, las cuales, además de aprovechar y aplicar los procesos naturales que ocurren en un ecosistema para depurar un

residuo contaminante, ofrecen la posibilidad de recuperar los recursos presentes en el mismo para su posterior uso, generándose además, un valor económico que contribuye a la sostenibilidad del sistema.

Sobre el proceso de remoción de cromo (VI) existen muchas investigaciones al respecto, sin embargo no se cuenta con una compilación de los diferentes tratamientos (alternativos y convencionales) implementados para eliminación de este metal pesado tan perjudicial para el ambiente y la salud pública.

En este trabajo se realizó una selección de literatura relacionada con la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales contaminadas con cromo hexavalente.

2. Metodología

Para la recolección de la información necesaria; se efectuó una revisión bibliográfica respecto a los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales, utilizados en la remoción del cromo hexavalente en las diferentes empresas que implementan este metal pesado como insumo en sus procesos productivos para elaboración, fabricación, de bienes y servicios.

Se recopiló la información correspondiente a los diferentes procesos implementados para el tratamiento de aguas residuales industriales contaminados con Cromo hexavalente (Cr 6+) y su grado de eficiencia en la remoción del metal pesado.

Dentro de esta revisión de literatura se tuvieron en cuenta tanto los sistemas convencionales como los alternativos utilizados como tratamiento terciario en la remoción de metales pesados; puesto que el pretratamiento, tratamiento primario y secundario son utilizados principalmente para remoción de carga orgánica, sólidos suspendidos, grasas y

aceites; y los encargados de remover contaminantes inorgánicos específicos son los tratamientos terciarios. Es ahí, en donde se eliminan compuestos tan contaminantes perjudiciales para la salud y el ambiente como lo son los metales pesados; dentro de este grupo el Cromo hexavalente, muy utilizado en actividades industriales.

3. Resultados

3.1. Tratamientos terciarios

Tienen como objetivo complementar los procesos que anteceden al agua residual dentro del sistema para lograr efluentes más puros, con menor carga contaminante que puedan ser reutilizados para otras actividades como recarga de acuíferos, recreación, agua industrial, etc.

Las sustancias o compuestos comúnmente removidos son: a. Fosfatos y nitratos, b. Huevos y quistes de parásitos, c. Sustancias tenso activas, d. Algas, e. Bacterias y virus, f. Sólidos totales y disueltos, g. Remoción de tóxicos específicos (metales pesados y compuestos inorgánicos), (OMS, 2002).

3.1.1. Tratamientos convencionales utilizados para la remoción de Cromo.

a. Intercambio iónico. Proceso por el cual ciertos iones no deseados son cambiados por otros iones, que están unidos a las partículas de una resina; normalmente los iones hidrógeno de la resina, se cambian por los cationes, y los iones hidroxilo de la resina se cambian por los aniones. Los iones hidrógeno e hidroxilo se combinan, formando agua pura. El proceso también es rápido y reversible (Maita, 2008; Ahalya, et al., 2005).

b. Osmosis inversa. Eliminación de iones metálicos por permeación a través de membranas semipermeables. La ósmosis inversa es capaz de remover hasta el 99.5 % de la

contaminación (Villanueva C., 2007).

c. Ultrafiltración. Es una operación de separación que comparte características de una filtración normal y de la ósmosis inversa. Consiste en la remoción de partículas coloidales y dispersas de un líquido que consiste en hacer pasar el mismo a través de una membrana aplicando alta presión (Ahalya, Ramachandra, & Kanamadi, 2003).

d. Precipitación química. Se entiende como la formación por acción de los reactivos apropiados, de compuestos insolubles con los iones metálicos indeseables contenidos en aguas residuales. El proceso tiene lugar al desolubilizarse el metal y formarse el precipitado (Martin, 2008).

e. Electrodialisis. Es un proceso de separación en el que se combina el efecto osmótico y el electrolítico para separar especies iónicas de una solución acuosa. Este método aprovecha la propiedad que tienen los iones en solución de migrar, al aplicarles un potencial eléctrico, los iones positivos se desplazan hacia el electrodo negativo (cátodo) y los iones negativos se desplazan hacia el electrodo positivo (ánodo) y el agua purificada se conduce al recipiente de almacenamiento (Driss, 2010).

Además de los métodos descritos, la tecnología de membranas, también ha sido usada para remover estos metales pesados de las aguas residuales de la industria. Sin embargo, estos procesos tienden a ser costosos, especialmente cuando los iones de estos metales están disueltos en soluciones acuosas en el orden de 1-100 mg/L. Asimismo, requieren una gran inversión de dinero en la capacitación del personal (Gupta, Babu, 2009).

Estos tratamientos alcanzan remociones superiores al 90% en cuanto a contaminantes específicos, en este caso metales pesados; infortunadamente esta tecnología se limita solo a grandes complejos industriales que cuentan con

los recursos suficientes para implementar estos sistemas en sus plantas de tratamiento de aguas residuales.

3.1.2. Tratamientos alternativos o no convencionales utilizados para la remoción de Cromo

a. Bio-adsorbentes

El proceso de adsorción consiste en la captación de diversas especies químicas por una biomasa, a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico (Pinzón-Bedoya y Vera-Villamizar, 2009).

El proceso de adsorción implica una fase sólida -biomasa- (sorbente o adsorbente) y una fase líquida (solvente) que contiene las especies disueltas (adsorbatos) que van a ser retenidas por el sólido. Para que este proceso se lleve a cabo debe existir afinidad del adsorbente por los adsorbatos, para que estos últimos sean transportados hacia el sólido donde van a ser retenidos por diferentes mecanismos. Esta operación continúa hasta que se establece un equilibrio entre el adsorbato disuelto y el adsorbato enlazado al sólido. (Cañizares-Villabuena, 2000.)

Rao Popuri et al, (2007), investigaron la adsorción de cromo (VI) en soluciones acuosas utilizando como material bioadsorbente la cáscara de tamarindo. Los experimentos se llevaron a cabo teniendo en cuenta diferentes parámetros experimentales como: pH, concentración inicial de iones de cromo y dosis de adsorbente en sistemas de lotes. Los resultados obtenidos han demostrado que las conchas de tamarindo tanto en su forma natural y tratadas con ácido oxálico y clorhídrico, son excelentes adsorbentes para la eliminación de los iones de cromo hexavalente, produciendo la muestra de cáscara de tamarindo tratada con ácido oxálico, una remoción máxima a pH 3.0 de

151.5 mg/g.

Gao et al, (2008), investigaron el uso de la espiga de arroz como adsorbente de Cr (VI) en soluciones acuosas. Se encontró que la velocidad de eliminación aumenta con la temperatura y con concentraciones iniciales de Cr (VI) bajas. La disminución del tamaño de las partículas del bioadsorbente aumenta su capacidad de remoción. El equilibrio se logra en 48 horas en condiciones normales. La capacidad de sorción de la espiga de arroz presentó un máximo de 3,15 mg / g.

Memon et al., (2009), describe el uso de cáscara de plátano, un residuo orgánico considerado como desperdicio que se produce habitualmente, para la eliminación de cromo (VI) de aguas residuales industriales. Se investigaron parámetros como pH, tiempo de contacto, la concentración inicial de iones metálicos, y la temperatura. La máxima remoción encontrada fue de 131.56 mg/g. Por lo tanto, se concluye que este material puede utilizarse eficazmente como un adsorbente para eliminar iones de cromo (VI) en aguas residuales industriales.

Pérez et al, (2009), estudiaron la habilidad de los residuos de naranja para remover Cr (III) de soluciones acuosas. Los resultados mostraron que cuanto mayor sea la dosis adsorbente y el pH, mayor es el porcentaje de eliminación de metal.

Jain et al., (2009), investigaron el potencial de las semillas de girasol, para remover Cr (VI) en aguas residuales simuladas en condiciones de procesos diferentes como pH, concentración del metal, dosis de adsorbente y tiempo de contacto. Las semillas de girasol tienen una máxima capacidad de adsorción de 7.9 mg/g.

Sánchez et al., (2013) evaluaron la capacidad de adsorción del carbón activado a partir del bagazo de caña de azúcar en la remoción del

Cromo (VI). Los resultados mostraron una remoción del metal pesado del 71,44% a una temperatura de 25°C.

Gupta y Babu, (2009), utilizaron el aserrín natural como adsorbente debido a la abundancia de este residuo. Los experimentos se llevaron a cabo mediante el sistema de lotes, investigando el efecto de parámetros importantes como pH inicial, el cambio en el pH durante la adsorción, el tiempo de contacto, cantidad de adsorbente y la concentración inicial de cromo (VI). La máxima capacidad de adsorción obtenida fue de 41.5mg/g a un valor de pH de 1.

Ahmad et al., (2011) trabajaron con lignina para la remoción de Cr (IV), se encontró que la capacidad de sorción de la lignina depende del pH de la solución, con una capacidad máxima de sorción de cromo a pH 2. La máxima capacidad de sorción obtenida para Cr (IV) fue de 31,6 mg/g respectivamente.

Se han implementado diferentes bioabsorbentes para evaluar la remoción de este metal pesado a escala de laboratorio; obteniendo valores prometedores en la remoción del Cromo (VI); cabe aclarar que dentro de la revisión bibliográfica no se encontraron implementación de estos sistemas alternativos a escala real; razón por la cual no se han dado resultados concluyentes y definitivos respecto a estos tratamientos.

b. Utilización de sistemas vivos (microorganismos y plantas) en la remoción de Cromo hexavalente

Actualmente se utilizan diferentes sistemas biológicos para contribuir en la remoción del Cromo (VI) en aguas residuales industriales contaminadas con este metal pesado; y de los cuales sobre salen las siguientes investigaciones:

Cárdenas-Gonzales J., Acosta-Rodríguez I., (2011). A escala de laboratorio aislaron el hongo

Paecilomyces sp y evaluaron la capacidad del mismo para remover Cromo (VI) en aguas residual sintética; determinando remociones de 100mg Cr/100ml.

Oporto C., Arce O., De Pauw N., Van den Broeck E., (2001). Evaluaron el potencial de la macrófita *Lemna minor* en la remoción del Cromo y obtuvieron resultados del 65% eliminación del metal pesado.

Rengifo-Gallego A., Peña-Salamanca E., Benítez-Campo N., (2012) Realizaron investigación sobre la remoción de cromo en agua residual sintética a escala de laboratorio en asociación de alga-bacteria *Bostrychia calliptera* (Rhodomelaceae), obteniendo porcentajes de remoción cercanos al 63% de Cromo.

En la actualidad se están utilizando diferentes compuestos para evaluar la remoción de los metales pesados utilizando diferentes técnicas de bio-remediación como lo son: Fito-remediación (Cuando se utilizan plantas para contribuir a la eliminación de compuestos inorgánicos), Mico-remediación (utilización de hongos) y demás técnicas que implementan los sistemas biológicos para tratar los recursos naturales contaminados con metales pesados.

4. Conclusiones

La eficiencia en cuanto a la remoción de metales pesados, implementando sistemas terciarios convencionales dentro de las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales son muy altas (Por encima del 90%); existen casos que estas remociones llegan alrededor del 99%; infortunadamente esta tecnología es limitada; debido a los altos costos asociados a la construcción, operación y mantenimiento de estos sistemas; razón por la cual solo es implementada por grandes industrias que cuentan con los recursos suficientes para tratar eficientemente las aguas residuales.

Se han implementado diferentes bioabsorbentes para evaluar la remoción de este metal pesado a escala de laboratorio; obteniendo valores prometedores en la remoción del Cromo (VI), superiores al 80%; cabe aclarar, que dentro de la revisión bibliográfica no se encontraron implementación de estos sistemas alternativos a escala real; razón por la cual no se han dado resultados concluyentes y definitivos respecto a estos tratamientos.

Extracción o utilización de sistemas biológicos para a remoción de metales pesados y demás contaminantes inorgánicos, son alternativas viables, eficaces y económicas y que está cautivando adeptos debido a la facilidad de operación y las remociones obtenidas a escala de laboratorio.

Dentro de los bioadsorbentes provistos en la literatura consultada; también se experimenta con modificaciones químicas con el fin de aumentar la remoción de los compuestos tóxicos presentes en el agua residual; razón por la cual se está volviendo atractivo para empresas medianas, pequeñas y artesanales que no cuentan con los recursos suficientes para implementas tecnologías más avanzadas.

5. Bibliografía

1. Ahmad B. et al., (2011). Biosorption of toxic chromium from aqueous phase by lignin: mechanism, effect of other metal ions and salts. *Chemical Engineering Journal*, 169(1-3), 20-30.
2. Ahalya N., Ramachandra T., Kanamadi R. Biosorption of Heavy Metals. *Res.J.Chem.Enviro* 7(4), 71-79.
3. Alzate AM. (2008). "Proyecto gestión en la industria de curtiembre en Colombia. Diagnóstico y estrategias", Disponible: en

<http://www.tecnologiaslimpias.org/Curtiembres/EstrategiasDiagnostico.pdf>). Consultado el 21 mayo de 2015.

4. Arias M, Pérez-Novo C, Osorio F, López E y Soto B. (2005). "Adsorption and desorption of copper and zinc in the surface layer of acid soils". *Journal of Colloid and Interface Science* 288: 21-29. Citado por: Agouborde, L. (2008). Remoción de metales pesados por medio de adsorbentes no convencionales.
5. Bermeo A. (2009). <http://www.medioambienteperiodismo.blogspot.com/2009/11/contaminacion-por-metales-pesados-y-sus.html>. Consultado el 23 de Agosto de 2015
6. Cárdenas-Gonzales J., Acosta-Rodríguez I., (2011). Remoción de Cromo hexavalente por el hongo *Paecilomyces* sp. Aislado del medio ambiente. *Información tecnológica*, 22: pp. 9-16.
7. Cañizares-Villanueva R. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 42: pp. 131-143. Colombia Minera. (2011). *Mitos y verdades. Químico maldito*. Publicaciones Semana. pp. 160.
8. Driss, S. (2010). Aprovechamiento de hueso de aceituna. Biosorción de iones metálicos [Tesis doctoral]. Universidad de Granada. España. Editorial de la Universidad de Granada. ISBN 978-84-693-6025-5
9. Farajzadeh MA y Monji AB. (2004). "Adsorption characteristics of wheat bran towards heavy metal cations". *Separation and Purification Technology* 38: pp. 197-207. Citado por: Agouborde, L. (2008). Remoción de metales pesados por medio de adsorbentes no convencionales.
10. Gao H., Liu Y., Zeng G., Xu W., Li T., Xia W. (2008). Characterization of Cr(VI) removal from aqueous solutions by a surplus agricultural waste—Rice straw. *Journal of Hazardous Materials* 150. pp. 446–452.
11. Gupta S., Babu B. (2009). Removal of toxic metal Cr(VI) from aqueous solutions using sawdust as adsorbent: Equilibrium, kinetics and regeneration studies. *Chemical Engineering Journal* 150. pp. 352–365.
12. Jain M, Garg VK, Kadirvelu K. (2009) Equilibrium and kinetic studies for sequestration of Cr(VI) from simulated wastewater using sunflower waste biomass. *Journal of Hazardous Materials* 171. pp. 328–334.
13. Kizilkaya R, Askin T, Bayrakli B y Saglam hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do rio Preto (SC) com o modelo SWAT. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)* – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 150 p.
14. Maita A. (2008). Evaluación de la adsorción de Cd (II) y Cu (II), mediante la utilización de la biomasa obtenida de la sábila (aloe vera) [Trabajo de grado]. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
15. Martin, M. (2008). Caracterización y aplicación de Cd (II) y Cu (II), mediante la utilización de la biomasa obtenida de

- la sábila (aloe vera) [Trabajo de grado]. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
16. Memon J., Memon S., Bhanger M., El-Turki A., Hallam K., Allen G. (2009). Banana peel: A green and economical sorbent for the selective removal of Cr(VI) from industrial wastewater. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 70. pp. 232–237.
17. Oporto C., Arce O., De Pauw N., Van den Broeck E., (2001) Evaluación del potencial de leña menor para la remoción de Cr (VI) de aguas residuales. *Revista Boliviana de Ecología y conservación ambiental*. 10: 17-27.
18. Organización Mundial de la Salud (2002). *Gestión Integral de tratamiento de aguas residuales*. [Conferencia].
19. Pérez A., Aguilar M., Meseguer V., Ortuño J., Sáez J., Lloréns M. (2009). Biosorption of chromium (III) by orange (*Citrus cinensis*) waste: Batch and continuous studies. *Chemical Engineering Journal* 155. pp. 199–206.
20. Pinzón-bedoya M. y Vera-Villamizar L. (2009). Modelamiento de la cinética de bioadsorción de Cr (III) usando cáscara de naranja. *Dyna*, vol. 76, núm. 160, diciembre, pp. 95-106
21. Quiñones, E., Tejada, C., Ruiz, V., (2014). Remediación de aguas contaminadas con cromo utilizando diferentes biomateriales residuales. *Ciencias e Ingeniería al día*. Revista institucional de la facultad de ingeniería. Universidad de Cartagena. Enero-Junio 2014, 25-42
22. Rao R., Rehman F. (2010). Adsorption studies on fruits of gular (*Ficus glomerata*): Removal of Cr (VI) from synthetic wastewater. *Journal of Hazardous Materials* 181. pp. 405–412.
- Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press. Washington. DC. 155 p
23. Rengifo-Gallego A., Peña-Salamanca E., Benitez-Campo N., (2012). Efecto de la asociación alga-bacteria *Bostrychia calliptera* (Rhodomelaceae) en el porcentaje de remoción de cromo en laboratorio. *Biología Tropical*. Universidad De Costa Rica. Septiembre, pp: 1055-1064.
24. Villanueva, C. (2007). Biosorción de cobre (II) por biomasa pretratada de cáscara de citrus sinensis (naranja), citrus limonium (limón) y opuntia ficus (palmeta de nopal). [Tesis de grado]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE UTILIZANDO CÁSCARA DE MORINGA OLEIFERA COMO BIO-ADSORBENTE

Removal of Hexavalent Chrome from Moringa Oleifera shell

Leidy Andrea Losada Galindo¹

Mayra Alexandra Sotto²

Oscar Fabián Artunduaga³

Resumen

La valorización de residuos vegetales como bioadsorbentes, para la eliminación de metales pesados de efluentes líquidos, está adquiriendo cada vez mayor relevancia en el campo medioambiental. La bioadsorción, es considerada un método eficaz y de bajo costo frente a técnicas convencionales. El presente trabajo, muestra los resultados obtenidos del estudio de la cáscara de la Moringa oleifera como bioadsorbente para la eliminación de Cromo (Cr) de una solución de Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$). Se estudiaron los efectos de las principales variables de operación tales como el tiempo de contacto, dosis de adsorbente, pH y temperatura.

Para las condiciones óptimas se alcanzó porcentajes de eliminación del 90%, para Cr a un pH de 3. Los datos de adsorción se analizaron usando el método colorimétrico Difenilcarbazida. Los resultados obtenidos muestran el gran potencial de la utilización de los bioadsorbentes obtenidos a partir de Moringa oleifera en la descontaminación de efluentes líquidos con elevada concentración de metales pesados.

Palabras clave: Metales pesados; Contaminación; Moringa oleifera; Bioadsorción; Tratamiento de agua

Abstract

The use of vegetable waste as bioadsorbents for the elimination of heavy metals from liquid effluents, has gained a valuable importance in the environmental field. The bioadsorption is considered an efficient and low cost method compared to the conventional techniques. This research shows the results that were

¹ Colombiana. Licenciada en ciencias Naturales y Educación Ambiental. Estudiante Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana Neiva. Avenida Pastrana Carrera 1a. Neiva, Huila, Colombia. Tita220885@hotmail.com

² Colombiana. Ingeniera Agrícola. Estudiante Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana Neiva. Avenida Pastrana Carrera 1a. Neiva, Huila, Colombia. Mayalexa_28@hotmail.com

³ Colombiano. Ingeniero Ambiental. Estudiante Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana Neiva. Avenida Pastrana Carrera 1a. Neiva, Huila, Colombia. Ofac18@hotmail.com

obtained from the chromium (Cr) elimination contained in a solution of Potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$) by using Moringa Oleifera shell. The effects of the main variables of operation such as contact time, adsorbent dose, pH and temperature were measured.

Under optimum conditions and using the diphenylcarbazide colorimetric method, a 90% of chrome elimination was obtained with at pH of 3. The results show the great potential of bioadsorbents obtained from the Moringa Oleifera shell in the decontamination of liquid effluents that contain high level of heavy metals.

Keywords: heavy metals; pollution; Moringa oleifera; bioadsorption; water treatment

1. Introducción

La contaminación de las aguas residuales industriales con metales pesados; es uno de los problemas ambientales más graves que se presenta hoy en día. El tratamiento de estos efluentes mediante el uso de bioadsorbentes extraídos de biomásas residuales, ha sido estudiado durante los últimos años como alternativa económica y eficiente. El propósito es identificar las biomásas que están siendo utilizadas actualmente en la remoción de cromo en aguas residuales contaminadas, especialmente o de manera primordial el uso que se está dando a un biomaterial con capacidad de adsorción, como lo es la cascara de Moringa.

Las aguas residuales contienen gran número de metales pesados, entre ellos níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro, mercurio, entre otros. Todas estas son sustancias contaminantes que deben tomarse en consideración para fijar valores, límites de emisiones, algunos de

ellos sean imprescindibles para el normal desarrollo de la vida biológica, quienes en algunos casos, por ausencia de cantidades suficientes podría limitar el desarrollo de algunas especies.

Las fuentes habituales de aguas residuales que contienen grandes cantidades de metales, proceden principalmente de la industria de limpieza de metales, recubrimiento, curado, refinado de fosfato y bauxita, generación de cloro, fabricación de baterías y curtiembres (Alonso J, 2008). Estos contaminantes proceden de industrias muy variadas y por su naturaleza, la concentración o caudal del efluente, hace que esas aguas residuales demanden un tratamiento antes de su vertido o reutilización (Rodríguez A et al., 2006). En general, el tipo y concentración de los metales pesados presentes en los residuos líquidos generados por las distintas industrias va a depender del proceso productivo, de la etapa en que se originen y de la materia prima utilizada (Sharma et al., 2007).

Los metales pesados, ejercen efectos biológicos que pueden ser benéficos o perjudiciales para los distintos organismos. No son biodegradables y tienden a acumularse en los organismos, causando numerosas enfermedades y trastornos (Inglezakis et al., 2003), razón por la cual han sido catalogados como una clase emergente de cancerígenos humanos (Farajzadeh MA y Monji MB, 2004). Elevadas concentraciones de algunos de estos elementos en el ambiente o en determinados procesos, pueden desencadenar una serie de problemas que van desde la degradación y pérdida de fertilidad de suelos (Kizilkaya et al., 2004; Arias et al., 2005), hasta afectar procesos de tratamiento de aguas residuales. (Quiñones, et al, 2014)

Realmente la actividad industrial y minera supone una preocupación importante para la Salud Pública, dado el alto grado de toxicidad

que causa y a la amplia variedad de fuentes de exposición, al arrojar al ambiente metales tóxicos; como plomo, mercurio, cadmio, arsénico, cromo, entre otros; dañinos para la salud humana y la mayoría de formas de vida como lo indica Bermeo, A (2009).

De esta forma la contaminación por metales pesados y el impacto en la salud pública, ha conducido al hombre a buscar alternativas para resolver este problema, utilizando métodos tradicionales como son: Osmosis inversa, electrodiálisis, ultrafiltración, intercambio iónico y precipitación química; pero el alto costo de los métodos convencionales llevó al desarrollo de alternativas tecnológicas, las cuales, además de aprovechar y aplicar los procesos naturales que ocurren en un ecosistema para depurar un residuo contaminante, ofrecen la posibilidad de recuperar los recursos presentes en el mismo para su posterior uso, generándose además, un valor económico que contribuye a la sostenibilidad del sistema. (Quiñones, et al, 2014)

En la actualidad, se han estudiado muchos métodos para la remoción de cromo en estado iónico, presente en aguas residuales industriales, como lo son: intercambio iónico sobre resinas poliméricas, coagulación-floculación, adsorción sobre carbón activado y reducción / precipitación química / sedimentación. En la mayoría de los casos este tipo de métodos resultan costosos y/o ineficientes, especialmente cuando la concentración de estos iones es muy baja. De acuerdo a lo anterior, surgen tecnologías emergentes tales como la bioadsorción; proceso que consiste en la captación de diversas especies químicas por una biomasa (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico (Garzón, 2012).

Metales pesados en aguas residuales

Los iones de metales pesados tales como el

Cromo no pueden ser degradados química ni biológicamente, por lo tanto, su presencia en los cuerpos de agua implica que con algunos procesos naturales estén biodisponibles, generando efectos de biomagnificación en los seres vivos; ocasionando diversos efectos negativos para el ecosistema y la salud humana. Al introducir Cr (VI) en el organismo de los seres humanos, se generan erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético, cáncer de pulmón e incluso la muerte. (Garzón, 2012)

El cromo presente en los efluentes de curtiembres por ejemplo, puede encontrarse principalmente en sus dos estados de oxidación estables: Cr (III) y Cr (VI); el Cr (III) es relativamente inofensivo, sin embargo, en soluciones acuosas el Cr (III) sufre un proceso de óxido-reducción donde cede electrones al medio y pasa a Cr (VI), el cual se adsorbe con facilidad a través del suelo y el agua, afectando así la flora y fauna presente en dicho ecosistema (Higuera, 2009). Según algunos Investigadores (Pinzón, 2009; IBTEN, 2008) los efluentes de la industria del cuero alcanzan concentraciones de cromo hexavalente hasta de 100 ppm (Coronel & Romero, 2004), superando las disposiciones establecidas en el Decreto 3930 de 2010 de la legislación Colombiana (SUNASS, 2000), la cual insta como criterio máximo de calidad admisible para la destinación de recurso hídrico para el consumo humano y doméstico un valor de 0,05 ppm de cromo hexavalente Cr (VI). (Garzón, 2012).

Para el año 2015; ya existe nueva normatividad colombiana (Decreto 631 de 2015) que regula o establece los valores máximos permisibles de este y otros contaminantes emitidos por diferentes sectores productivos en el desarrollo de sus actividades cotidianas; para este metal pesado varía entre 0,1 y 0,5 mg/L de Cromo.

Utilización de las cascarillas de las semillas y las vainas secas de *Moringa oleifera*

La contaminación del agua por compuestos químicos orgánicos tóxicos y metales pesados procedentes de los vertidos de efluentes residuales industriales se ha convertido en un problema medioambiental a escala global. La mayoría de los metales pesados son muy tóxicos, persisten indefinidamente en el medio ambiente, tanto así que su proceso de eliminación es bastante complejo, incluso cuando se encuentran trazas de ellos. Su naturaleza no biodegradable y la larga vida media biológica de la mayoría de los metales provocan su acumulación en el medio acuático y representan un peligro potencial para los seres humanos, especialmente si se ingieren a través del agua o alimentos (García, et al)

Las principales ventajas de la bioadsorción sobre los métodos convencionales de separación son: bajo costo, alta eficiencia, minimización de lodos químicos y/o biológicos, regeneración del bioadsorbente y la posibilidad de recuperar los metales. En el campo de la bioadsorción, se han estudiado diferentes materiales naturales como posibles adsorbentes para la eliminación de metales pesados, siendo uno de ellos la *Moringa oleifera*. La *Moringa oleifera* (MO) es un árbol tropical originario de África y la India que posee múltiples propiedades nutricionales y farmacológicas. Su aplicación en el campo del tratamiento del agua es ampliamente conocida, puesto que las semillas poseen un compuesto activo coagulante capaz de reducir la turbidez del agua y la contaminación microbiológica de la misma (García-Fayos, 2009).

En los últimos años, la investigación entorno a *Moringa oleifera* se ha centrado en estudiar su potencial para resolver otras problemáticas medioambientales; tales como la eliminación de colorantes, tratamiento de aguas residuales e incluso la eliminación de metales pesados del agua.

Existen trabajos previos que estudian el potencial de la *Moringa oleifera* en la eliminación de metales pesados tales como Cromo, Zinc, Níquel, Mercurio, Plomo y Cromo utilizando distintos sustratos obtenidos a partir de *Moringa* como adsorbente. Entre los más utilizados se encuentran las semillas crudas trituradas (Srivastava et al., 2007), el carbón activo a partir de madera de *Moringa* (Kalavathy et al., 2010), extractos de semillas (Sajidu et al., 2007) o la cáscara (Seshaiah et al., 2011) de la misma con resultados variables. (García, B et al)

Caracas, 04 Mar. AVN.- Científicos del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (Ivic) demostraron, mediante un estudio de caracterización química, que las cápsulas de las plantas de *Moringa*, cultivadas en Venezuela, contienen los mismos componentes que sus semillas y tienen el potencial para la descontaminación del medio ambiente.

Mirla Rodríguez, investigadora del instituto, explicó que las cápsulas estudiadas contienen compuestos como celulosa, hemicelulosa, lignina y proteínas, los cuales poseen grupos funcionales capaces de absorber iones metálicos presentes en sistemas acuosos.

Las cápsulas de donde brotan las semillas de *Moringa* pueden ser utilizadas en la remoción de metales pesados y colorantes presentes en aguas contaminadas; regeneración de suelos dañados por los efectos de metales pesados, herbicidas y pesticidas; remoción de colorantes presentes en aceites y como materia prima para la elaboración de compost.

Desde hace milenios, prácticamente todas las partes de *M. oleifera* han sido utilizadas por el hombre. Las hojas, las flores, los frutos y las raíces son apreciados por su valor nutritivo y pueden ser usados tanto en la alimentación humana como en la animal. Las hojas son excepcionalmente ricas en vitaminas y diferentes aminoácidos, por lo que se

recomiendan para tratar problemas de malnutrición en niños (Fuglie, 2001). También se emplean como forraje, biopesticida y para la producción de biogás (Fahey, 2005). Las semillas se utilizan en la alimentación, la medicina, el tratamiento de aguas y como fertilizantes (Foidl et al., 2001). La corteza del tronco es útil en la adsorción de metales pesados (Reddy, Ramana, Seshiah y Reddy, 2011), así como para la fabricación de cuerdas y alfombras (Ramachandran, Peter y Gopalakrishnan, 1980). El aceite se usa en la industria de perfumería y la de cosméticos como lubricante, en la alimentación humana y en la producción de biodiesel (Rashid, Anwar, Moser, y Knothe, 2008). Las cascarillas de las semillas sirven de materia prima para la producción de carbón activado y de intercambiadores aniónicos. La planta también se emplea como cerca viva o cortina rompevientos, mientras que la biomasa lignocelulósica del tronco y de las ramas puede ser utilizada como material de construcción y para producir pulpa celulósica y etanol. (C, Martin 2013)

Si se industrializara la extracción del aceite de *M. oleifera* y el aprovechamiento de la torta de prensado, se generarían grandes cantidades de residuos sólidos formados por las cascarillas de la semilla y las vainas secas del fruto. Una posible aplicación de las cascarillas es en la producción de carbón activado. En investigaciones sobre la carbonización, seguida de su activación al vapor, se obtuvieron carbones con una estructura microporosa altamente desarrollada y una elevada área específica (Pollard, Thompson y McConnachie, 1995). También se ha evaluado la pirólisis al vapor en una sola etapa, lo que hace que los carbones posean una mayor capacidad adsorptiva que aquellos producidos por el método convencional de carbonización-activación en dos etapas (Warhurst, McConnachie y Pollard, 1997). En ambos casos, los carbones mostraron un comportamiento comparable al de los carbones

activados comerciales, y su producción representaría ahorro de recursos en la importación. Otro posible uso de las cascarillas es en la producción de resinas de intercambio aniónico (Martin, 2013)

Bioadsorción

La bioadsorción es un proceso de adsorción que consiste en la captación de diversas especies químicas por una biomasa (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico. El proceso de bioadsorción implica una fase sólida -biomasa- (sorbente o adsorbente) y una fase líquida (solvente) que contiene las especies disueltas (adsorbatos) que van a ser retenidas por el sólido. Para que este proceso se lleve a cabo debe existir afinidad del adsorbente por los adsorbatos, para que estos últimos sean transportados hacia el sólido donde van a ser retenidos por diferentes mecanismos. Esta operación continúa hasta que se establece un equilibrio entre el adsorbato disuelto y el adsorbato enlazado al sólido.

El uso de biomasa muerta tiene ventajas sobre la utilización de biomasa viva, ya que en este último no es necesario adicionar nutrientes, el adsorbente resulta inmune a la toxicidad o a condiciones de operación adversas, los procesos no están gobernados por limitaciones biológicas, la recuperación de metales es más fácil y la biomasa se comporta como un intercambiador de iones. No obstante, se deben tener en cuenta los inconvenientes que este proceso conlleva tales como: una rápida saturación del sólido, alta sensibilidad hacia los cambios de pH, y el hecho que el estado de valencia del metal no puede ser alterado biológicamente, entre otros.

Desde los primeros intentos en la aplicación de la bioadsorción, han transcurrido más de 65 años, pero solo desde hace dos décadas y por razones fundamentalmente de tipo económico y ambiental, las investigaciones desarrolladas se han centrado principalmente en el empleo de

esta técnica para la eliminación de especies metálicas presentes a bajas concentraciones en efluentes líquidos, utilizando materiales bioadsorbentes de bajo costo. (Quiñones, et al, 2014)

Adsorción de Cromo con diversas Biomásas

Bioadsorción de cromo (VI) usando cáscara de tamarindo

Rao Popuri et al, (2007), investigaron la adsorción de cromo (VI) en soluciones acuosas utilizando como material bioadsorbente la cáscara de tamarindo. Los experimentos se llevaron a cabo teniendo en cuenta diferentes parámetros experimentales como: pH, concentración inicial de iones de cromo y dosis de adsorbente en sistemas de lotes. Los resultados obtenidos han demostrado que las conchas de tamarindo tanto en su forma natural y tratadas con ácido oxálico y clorhídrico, son excelentes bioadsorbentes para la eliminación de los iones de cromo hexavalente, produciendo la muestra de cáscara de tamarindo tratada con ácido oxálico, una remoción máxima a pH 3.0 de 151.5 mg/g.

Adsorción de cromo (VI) con residuos de bellota (*quercus ithaburensis*).

Malkoc y Nuhoglu, (2007), estudiaron la eficiencia de los residuos de bellota (WAQI) como adsorbente para remover iones de Cr (VI) de soluciones acuosas. Se encontró que la máxima adsorción del metal fue de 31.48 mg/g con un pH inicial de 2.0, para una concentración inicial de Cr (VI) de 400 mg L⁻¹ a 25°C. El análisis demostró que los resultados obedecieron el ajuste entre la ecuación cinética de pseudo-segundo orden, de pseudo-primer orden y la ecuación de Elovich, con un mejor ajuste a la ecuación de pseudo-segundo orden. Se demostró que la técnica de remoción de metales pesados usando este tipo de adsorbentes puede ser un método efectivo para el tratamiento económico de aguas residuales.

Remoción de cromo (VI) en soluciones acuosas utilizando espiga de arroz.

Gao et al, (2008), investigaron el uso de la espiga de arroz como bioadsorbente de Cr (VI) en soluciones acuosas. Se encontró que la velocidad de eliminación aumenta con la temperatura y con concentraciones iniciales de Cr (VI) bajas. La disminución del tamaño de las partículas del bioadsorbente aumenta su capacidad de remoción. El equilibrio se logra en 48 horas en condiciones normales. Las pruebas mostraron que las isothermas de equilibrio los datos de adsorción estaban mejor representados por el modelo de Langmuir y la capacidad de sorción de la espiga de arroz presentó un máximo de 3,15 mg / g.

Bioadsorción de cromo (VI) en soluciones acuosas utilizando cáscara de nuez, avellana y almendra.

Pehlivan y Altun, (2008), investigaron en experimentos por lotes, el potencial que tienen las cáscaras de nuez (*Juglans regia*), de avellana (*Corylus avellana*) y de almendra (*Prunus dulcis*) para eliminar Cr (VI) en soluciones acuosas. El equilibrio de adsorción está determinado por el tiempo de contacto de la solución y la concentración inicial. Los experimentos cinéticos revelaron que las soluciones diluidas de cromo alcanzan el equilibrio a los 100 minutos. La adsorción de iones de Cr (VI) en todos los casos depende del pH, dándose los máximos valores de adsorción 2.0 y 3.5. La isoterma de Langmuir da como máxima adsorción de Cr (VI) 8.01 mg/ g para la cáscara de nuez, 8.28 mg/g para la de avellana, y 3.40 mg / g con la de almendra. Estos bioadsorbentes se encuentran fácilmente disponibles, y pueden, por tanto, ser utilizados en reactores por lotes de pequeñas industrias que tienen bajas concentraciones de Cr (VI) en las aguas residuales.

Remoción de cromo (VI) en soluciones

acuosas utilizando la cáscara de la fruta de bael.

Anandkumar y Mandal, (2009), utilizaron la cáscara de la fruta de bael como un adsorbente de bajo costo para remover Cr (VI) de soluciones acuosas. Se hicieron experimentos por lotes, donde se tuvo en cuenta el pH de la solución, el tiempo de agitación, la concentración inicial y la dosis de adsorbente. La máxima eliminación de Cr se logra después de 240 min, a un pH de 2. Una evaluación utilizando la ecuación de Langmuir dió que la capacidad de adsorción máxima es de 17,27 mg/g. La cinética de adsorción fue descrita por el pseudo-modelo de segundo orden. Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que la cáscara de la fruta de bael es un adsorbente eficaz y económicamente viable para remoción de Cr (VI) en medio acuoso.

Remoción de cromo (VI) en aguas contaminadas utilizando residuos de girasol

Jain et al., (2009), investigaron el potencial de los residuos del girasol, para remover Cr (VI) en aguas residuales simuladas en condiciones de procesos diferentes como pH, concentración del metal, dosis de adsorbente y tiempo de contacto. Los residuos de girasol tienen una máxima capacidad de adsorción de 7.9 mg/g. Los altos coeficientes de correlación indicaron que la cinética de adsorción se rige por el modelo de pseudo-segundo orden.

Bioadsorción de cromo (VI) con cáscara de maní

Qaiser et al., (2009), estudiaron la biosorción de cromo con cáscara de maní, se realizaron experimentos para encontrar el equilibrio entre el tiempo, la capacidad de biosorción y el efecto de parámetros como el pH, la temperatura y la concentración inicial del contaminante estudiado. La máxima capacidad de biosorción de cromo (VI) se encontró en $30,21 \pm 0,74$ mg/g.

El pH óptimo para la eliminación de cromo (VI) fue de $2 \pm 0,1$ y la temperatura de 40 ± 2 °C.

Remoción de cromo (VI) usando tallos de maíz

Chen et al., (2011), estudiaron la capacidad de adsorción de Cr (VI) de soluciones acuosas usando tallos de maíz modificados químicamente con epíclorohidrina y otros, variando dosis de adsorbente, concentración inicial de Cr(VI), pH, tiempo de contacto y temperatura. La adsorción máxima de Cr (VI) fue de 200.00 mg/g a 303 K. los resultados mostraron que la adsorción del Cr (VI) depende significativamente del pH y la temperatura. El proceso sigue el modelo descrito por la expresión cinética de pseudo-segundo orden.

Remoción de cromo (VI) usando cáscara de nuez

Altun y Pehlivan, (2012), estudiaron la remoción de Cr (VI) de soluciones acuosas después de un tratamiento con ácido cítrico. La tasa de adsorción se estudió teniendo en cuenta la concentración inicial de Cr (VI), la cantidad de adsorbente, el pH, la temperatura y el tiempo de contacto. La máxima adsorción fue de 0.1540 mmol/g con pH de 2.0 y temperatura de 120°C. La capacidad de adsorción fue calculada usando el modelo de Langmuir.

Remoción de cromo (VI) de soluciones acuosas utilizando aserrín

Gupta y Babu, (2009), utilizaron el aserrín natural como bioadsorbente debido a la abundancia de este residuo. Los experimentos se llevaron a cabo mediante el sistema de lotes, investigando el efecto de parámetros importantes como pH inicial, el cambio en el pH durante la adsorción, el tiempo de contacto, cantidad de adsorbente y la concentración inicial de cromo (VI). Se encontró que el modelo de isoterma de Langmuir es el más adecuado para la adsorción de cromo (VI) con aserrín y la máxima capacidad de adsorción

obtenida fue de 41.5mg/g a un valor de pH de 1. El proceso de adsorción sigue la cinética de pseudo-segundo orden.

Remoción de cromo (VI) de efluentes industriales utilizando cáscara de plátano

Memon et al., (2009), describen el uso de cáscara de plátano, un desperdicio de fruta que se produce habitualmente, para la eliminación de cromo (VI) de aguas residuales industriales. Se investigaron parámetros como pH, tiempo de contacto, la concentración inicial de iones metálicos, y la temperatura. La cinética de adsorción sigue una ecuación pseudo primer orden. La máxima remoción encontrada fue de 131.56 mg/g. Por lo tanto, se concluye que este material puede utilizarse eficazmente como un adsorbente para eliminar iones de cromo (VI) en aguas residuales industriales.

Remoción de cromo (VI) usando salvado de trigo

Singh et al., (2009), analizaron la posibilidad de usar salvado de trigo como adsorbente para remover cromo (VI) de soluciones acuosas. La adsorción máxima de Cr (VI) fue de 310.58 mg/g a un pH de 2.0 bajo condiciones iniciales de concentración de 200 mg/L y temperatura de 40°C. Los resultados demuestran que el proceso se basa en la expresión de pseudo-segundo orden. Además, la remoción de Cr (VI) fue rápida en las etapas iniciales por la difusión entre la frontera de las capas y se fue volviendo lenta a medida que avanzaba el proceso por la difusión de intrapartículas.

Bioadsorción de cromo (VI) en aguas residuales con cáscara de pistacho

Moussavi y Barikbin, (2010), investigan el uso del polvo de la cáscara de pistacho como bioadsorbente en la remoción de Cr (VI) de aguas residuales. Se estudiaron los efectos que producían diferentes parámetros como el pH, la

concentración inicial del ion metálico, la temperatura y el tiempo de contacto. Los resultados revelaron que el polvo de cáscara de pistacho adsorbe más del 99% de cromo de soluciones que contienen de 50 a 200 mg/l de Cr (VI) con un pH de 2 y una concentración de adsorbente de 5 g/l, después de 60 min de equilibrio. El porcentaje de cromo adsorbido en la solución aumentó con la temperatura en el rango de 5 a 40°C. Los estudios cinéticos y la isoterma de modelado demostraron que los datos experimentales se adaptan mejor a una ecuación de pseudo-segundo orden y al modelo de Langmuir, respectivamente. La máxima capacidad de adsorción de Langmuir fue 116,3 mg/g. En resumen, la adsorción con cáscara de pistacho es un proceso asequible y sencillo para el tratamiento de Cr (VI) de aguas residuales industriales.

Remoción de cromo (VI) usando residuos de trigo

Chen et al., (2010), estudiaron la capacidad de adsorción de Cr (VI) del residuo de trigo modificado (MWR) químicamente usando epíclorohidrina y otros. Los resultados demostraron que la máxima capacidad de adsorción del MWR es de 322.58 mg/g a 328K y se debe a la existencia de varios grupos amino y al valor de pH usado, que fue de 5.0. El análisis se basó en la ecuación cinética de pseudo-segundo orden y el modelo de difusión intrapartículas. Los resultados sugieren que el MWR es un adsorbente efectivo y económico para la remoción de Cr (VI) de soluciones acuosas.

Adsorción de cromo (III) con aserrín de meranti

Rafatullaha et al., (2009), proponen el uso del aserrín de meranti en la eliminación de iones de Cu (II), Cr (III), Ni (II) y Pb (II) de soluciones acuosas a concentraciones de 200 mg/l. La máxima adsorción para todos los metales se

obtuvo a pH 6, con un tiempo de contacto de 120 min, una dosis de adsorbente de 10 g/l, una temperatura de 30 °C y una velocidad de agitación de 100 rpm. La cinética de adsorción fue modelada con las ecuaciones de pseudo-primer orden y pseudo-segundo orden los cuales arrojaron valores altos del coeficiente de correlación R^2 de 0.850 a 0,932 y 0,999 a 0.991, respectivamente. La ecuación de la cinética de adsorción que mejor se ajusta a los datos experimentales es la ecuación de pseudo-segundo orden de Ho y McKay obteniéndose la máxima adsorción de Cr (III) de 37,88 mg/g. Además, el aserrín de meranti fue encontrado rentable y tiene una buena eficiencia para eliminar estos iones metálicos tóxicos de las soluciones acuosas.

Remoción de cromo (III) usando residuos de naranja

Pérez et al, (2009), estudiaron la habilidad de los residuos de naranja para remover Cr (III) de soluciones acuosas, se realizaron estudios por lote, la cinética e isothermas se llevaron a cabo a escala de laboratorio para evaluar la capacidad de adsorción de estos residuos. Se investigaron los efectos del tamaño de partícula, la dosis adsorbente y el pH de la solución. Los resultados mostraron que cuanto mayor sea la dosis adsorbente y el pH, mayor es el porcentaje de eliminación de metal. Una influencia significativa de tamaño de partícula sobre la capacidad de sorción se observó en las condiciones experimentales estudiadas. Un estudio cinético reveló que la adsorción de Cr (III) con residuos de naranja fue un proceso gradual y el equilibrio se alcanza en tres (3) días. El modelo de pseudo-segundo orden es el más apropiado para describir los datos experimentales cinéticos. Los ensayos de equilibrio muestran una capacidad máxima de sorción que va desde 0,57 mmol/g hasta 1,44 mmol/g cuando el pH se incrementó de 3 a 5. Se concluyó que la capacidad de adsorción en los ensayos por lotes fue mayor que en los ensayos

continuos.

Remoción de cromo (III) usando residuos de rosa

Iftikhar et al., (2009), estudiaron la capacidad de adsorción de los residuos de pétalos de rosa para remover Cr (III) de soluciones acuosas. Los resultados demostraron la dependencia de la adsorción del metal de: la dosis de adsorbente, el tamaño, la concentración inicial, tiempo y temperatura. La adsorción máxima del cromo fue de 67.34 mg/g con pH y temperatura óptimas de 5 y $303 \pm 1K$, respectivamente. Los resultados mostraron que los residuos de rosa son un material potencial para remover iones de Cr (III) con alta capacidad de adsorción. Los resultados mostraron que el proceso sigue el modelo de pseudo-segundo orden.

Bioadsorción de cromo (III) en soluciones acuosas utilizando cáscara de maní

Witek-Krowiak et al., (2011), describen el uso de la cáscara de maní como bioadsorbente ecológico para la remoción de metales pesados. En este trabajo se examinó la eficacia para la remoción de iones de Cr (III) en soluciones acuosas. La bioadsorción se vio afectada por varios parámetros, como la concentración de bioadsorbente, pH y temperatura. Este estudio demostró que en condiciones óptimas (pH= 5,0, concentración de biomasa= 10 g/l; temperatura= 20°C, y tiempo de contacto= 1h), según el modelo de Langmuir, la máxima capacidad de adsorción obtenida fue de 27.86mg/g. Experimentos cinéticos demostraron que el proceso de biosorción fue rápido, con el equilibrio alcanzado prácticamente a los 20 min. La cinética del proceso se describe mejor mediante la ecuación de pseudo-segundo orden. Los resultados obtenidos y su comparación con diferentes biosorbentes mostraron que la biomasa de cáscara de maní es un biosorbente eficaz para remover iones metálicos.

Capacidad de remoción de cromo de las

biomasas investigadas

Con respecto a la información recopilada, se puede resaltar las biomasas de cáscara de pistacho, cáscara de plátano, residuos de trigo, salvado de trigo y tallos de maíz, puesto que, reportan la mayor capacidad de remoción que van desde 116,3 hasta 322,28 mg de cromo (VI)/g de biomasa, esto se debe a que las biomasas han sido sometidas a algún tipo de modificación física o química.

Para la remoción de Cr (VI) la biomasa que mostró la máxima capacidad de adsorción fueron los residuos de trigo con 322,58 mg/g, y las condiciones más favorables se dieron a una temperatura de 328K y un valor de pH de 5, además se le atribuye la capacidad del trigo a la existencia de varios grupos amino (Chen S et al., 2010), para el Cr(III) los residuos de naranja mostraron el mejor resultado con 74.87 mg/g a un pH de 5, comprobándose que la adsorción del metal está fuertemente influenciada por la dosis de adsorbente y el pH, donde el tamaño de particular del adsorbente no tuvo efectos significativos (Quiñones, E, et al, 2014)

2. Metodología

El ensayo se llevó a cabo en el Laboratorio de Aguas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana y consta de tres fases, que se detallan a continuación:

1. Preparación del Bioadsorbente

Preparación a partir de la cáscara: La cáscara de Moringa oleífera se sometió a un tratamiento físico (procesos de lavado, hervido, secado, molienda y tamizado) siguiendo la metodología seguida por otros autores previamente (Seshaiah et al., 2011).

2. Preparación del Agua Sintética

Se preparó una solución sintética de agua problema disolviendo 0.283g de $K_2Cr_2O_7$ según cálculos estequiométricos y con grado analítico en agua destilada para obtener una solución madre de 1000 ml de solución del metal (Cr)

3. Estudio del Proceso de Bioadsorción

Los pasos a seguir fueron:

• Proceso de Bioadsorción

Se puso en contacto el bioadsorbente y las muestras problema, se reguló el pH, una muestra a pH 3, otra a pH 9, cada una con su respectivo testigo y una muestra X (pH 6.1). Se agitaron a una temperatura ambiente, a 200 rpm durante (20min). Una vez transcurrido el tiempo las muestras se dejaron en reposo o decantación durante (10 min) y posteriormente fueron filtradas.

Para determinar la concentración de iones metálicos (Cr) y el porcentaje de remoción en la solución se utilizó el método colorimétrico Difenilcarbazida muy utilizado en química analítica.

• Efecto de las Variables Operativas.

Se estudió el efecto que tienen cuatro variables operativas en el proceso de bioadsorción.

- Tiempo de contacto. 20min

- Dosis de Bioadsorbente. 10g de bioadsorbente por cada 100 ml de solución.

- pH. 3(Ácido) - 9 (Básico) - pH X - 6.1 (Ligeramente ácido)

- Temperatura. Ambiente

Efecto de las Variables

- *Tiempo de contacto.* El tiempo óptimo fue de 20 minutos. Usando cáscara de Moringa se logró eliminar el 90%, 70% y 50% de Cr a pH 3, pH 6.1 y pH 9 respectivamente.

- *Dosis de adsorbente.* Los resultados de eliminación se consiguieron con 10 g

adicionados a 100ml de solución madre de $K_2Cr_2O_7$.

- *pH*. El óptimo fue de 3 alcanzándose una eliminación del 90% para el Cr trabajando con cáscara de Moringa

- *Temperatura*. La temperatura óptima fue la temperatura ambiente ($26^\circ C$) para el sustrato.

Por medio del método colorimétrico Difenilcarbazida se determinó la concentración de los iones metálicos en los tratamientos utilizados en el ensayo con cascara de moringa con tratamiento a pH.3 - pH. 9 - pH. 6.1 y sus testigos sin tratamiento a Ph 3 - pH 9, permitió determinar que a pH ácido la remoción de metales pesados exactamente del Cromo, utilizada en este ensayo es óptimo que para pH básicos; tal como se muestra en la tabla 1, donde se detalla que para pH 3 y pH.6.1 el porcentaje de remoción es mayor respecto al tratamiento con pH 9.

El mejor porcentaje en el ensayo de remoción fue observado en un valor de pH igual a 3 unidades, teniendo una remoción del 90 %. Lo que nos muestra claramente la importancia del pH en el proceso de remoción de metales. Su influencia en el proceso de biosorción de iones metálicos, se da por la competición entre los iones del metal y los iones H^+ , presentes en la solución, por los sitios activos en la superficie de la biomasa. La dependencia de la captura de los iones por la biomasa en función del pH puede justificarse por la asociación o disociación de algunos grupos funcionales presentes, como por ejemplo, los grupos carboxilo (Chubar et al., 2004; Selatnia et al., 2004).

En cuanto a las semillas de Moringa contienen varios grupos funcionales, principalmente grupos amino y ácidos. Estos grupos tienen la capacidad de interactuar con iones metálicos, dependiendo del pH. Un aumento en la adsorción del metal con el aumento de los valores de pH se puede explicar sobre la base de

Tabla 1. Porcentaje de remoción de Cromo Hexavalente

Tratamiento con cascara de <i>Moringa oleífera</i>	pH 3 (Testigo)	pH 3 con cascara Moringa	pH 6,1 Cascara de Moringa	pH 9 con cascara Moringa	pH 9 (Testigo)
% Remoción	40%	90%	70%	50%	20%

De acuerdo a Pereira (2003) y Senthilkumaar; et al (2000) se indica que El pH es un parámetro importante en la remoción de metales pesados ya que afectan cualquier proceso de adsorción. Esta dependencia está estrechamente relacionada con las propiedades ácido-base de los diversos grupos funcionales en las superficies adsorbentes.

la competencia entre los iones de protones y de metal para los mismos grupos funcionales, y una disminución en la superficie de carga positiva, lo que resulta en una mayor atracción electrostática entre la superficie del metal y el bioadsorbente (Senthilkumaar S; et al, 2000).

Los materiales bioadsorbentes contienen principalmente grupos funcionales ácidos y

básicos débiles. Se desprende de la teoría del equilibrio ácido-base, en el intervalo de pH de 2,5-5, la unión de cationes de metales pesados está determinada principalmente por el estado de disociación de los grupos ácidos débiles. A mayor pH de la solución, la solubilidad de un metal complejo disminuye suficientemente para su precipitación, que conducen a una capacidad de sorción reducida (Cleide S. T; et al, 2013).

A continuación se compilan en la figura 1 los resultados respecto a la remoción de Cromo hexavalente utilizando cáscara de moringa como bioadsorbente.

En la medida que el pH de la muestra a tratar sea más bajo (ácido), esto provoca la protonación de la superficie del bioadsorbente (cáscara de moringa), lo cual induce una fuerte atracción por los iones Cr(VI) de la solución que se encuentran cargados negativamente; por tanto la remoción del metal pesado es mayor a pH ácido. Caso contrario sucede con pH básicos; en la solución los iones que aumentan con los OH^- , que induce cambios en la superficie del bioadsorbente; impidiendo la adsorción de los iones Cr(VI) que están cargados negativamente por la biomasa.

REMOCIÓN DE Cr (VI) UTILIZANDO CÁSCARA DE MORINGA COMO BIOADSORBENTE

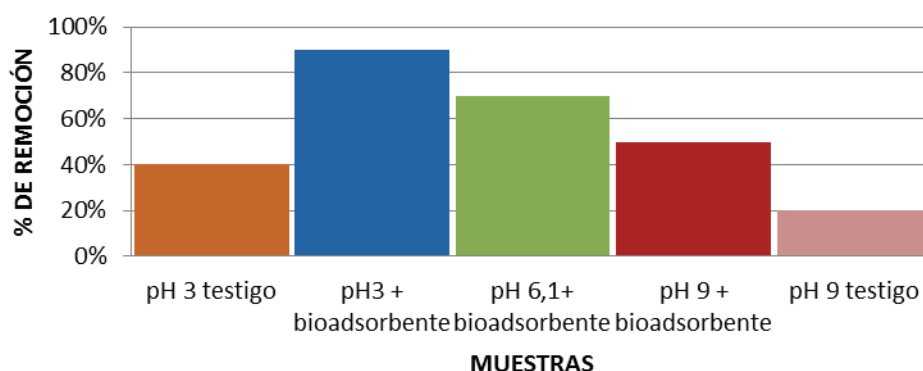


Figura 1. Remoción de Cromo hexavalente utilizando cáscara de moringa como bioadsorbente.

La biomasa de moringa (10g) introducida a cada muestra que incluía 100ml de agua residual industrial sintética a una concentración de 100mg/l de Cromo hexavalente (Cr(VI)), obtuvo una adsorción máxima del metal pesado en un 90% con pH de 3 Unidades y la mínima fue del 50% de remoción a un pH de 9 Unidades; sin tener en cuenta los testigos trabajados en el laboratorio que solo con las modificaciones de pH 3 y 9 obtuvieron remoción del 40% Y 20% respectivamente.

4. Conclusiones

La bioadsorción es un método económico y ecológico para la eliminación de metales pesados que puede ser utilizado desde el hogar, así como las aguas residuales industriales, además de brindar un alto porcentaje de remoción a un bajo costo y con materiales de fácil acceso.

Se concluye que la tendencia en investigación

respecto a la búsqueda de métodos para la remoción de cromo está en el uso de bioadsorbentes dejando de lado los métodos convencionales.

La cáscara tratada de *Moringa oleífera* puede ser un bioadsorbente potencial para la eliminación del Cr de soluciones acuosas, ya que se obtuvieron rendimientos de eliminación bastante elevados.

El pH óptimo para la adsorción de Cromo (VI) es 3, o en un rango 3 y 6,1

-Se logró la máxima adsorción de Cr VI (90%) a pH 3, con un tiempo de contacto de 20min, una dosis de adsorbente de 10g/L, una temperatura ambiente y una velocidad de agitación de 200 rpm.

De la revisión realizada, se puede observar que en los últimos seis años se ha investigado el uso de una amplia variedad de biomásas para la remoción de los iones metálicos en aguas contaminadas, entre los que se incluye la cascara de *Moringa*

La cascara de *moringa* resulta ser excelente adsorbiendo metales pesados como el Cromo en aguas contaminadas alcanzando una remoción del Cr (VI) del 90% en tan sólo 20 minutos a pH 3.

5. Referencias bibliográficas

1. AVN 04/03/2015 16:20 <http://www.avn.info/ve/contenido/c%C3%A1psulas-semilla-moringa-pueden-regenerar-aguas-contaminadas>
2. Cleide S. T. Araújo, Dayene C. Carvalho; et al, 2013. Bioremediation of Waters Contaminated with Heavy Metals Using *Moringa oleífera* Seeds as Biosorbent. Disponible en

<http://www.intechopen.com/books/applied-bioremediation-active-and-passive-approaches/bioremediation-of-waters-contaminated-with-heavy-metal-s-using-moringa-oleifera-seeds-as-bio-sorbent>.

3. Garcia Fayos B, Arnal Arnal J, Alandia S 2012. Estudio de la descontaminación de efluentes líquidos con elevada concentración de metales pesados mediante bioadsorbentes de *Moringa Oleífera*. Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM). Universitat Politècnica de València. XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos Valencia, 11-13 de julio de 2012
4. Garzón J, González I, 2012. Adsorción de Cr (VI) utilizando carbón activado a partir de cáscara de naranja. Universidad de Cartagena 2012.
5. Martín C., et al 2013. Potenciales aplicaciones de *Moringa oleífera*. Una revisión crítica. Pastos y Forrajes vol.36 no.2 Matanzas abr.-jun. 2013. versión ISSN 0864-0394. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942013000200001&script=sci_arttext
6. Pérez, R; et al rindes.2014. Adsorción de Cr(VI) por Cocos nucífera L. en residuales de Fibrocemento en Santiago de Cuba. Universidad Nacional, Bogota. Revista Colombiana de Biotecnología, Vol. 16. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/rt/prINTERfriendly/44183/45830>
7. Quiñones, E, et al, 2014. Remediación de

aguas contaminadas con cromo utilizando diferentes biomateriales residuales. Ciencias e Ingeniería al día. Revista institucional de la facultad de ingeniería. Universidad de Cartagena. Enero-Junio 2014, 25-42

8. Quiñones, E.; Tejada, C.; Arcia, C.; Ruiz, V.: Remoción metales pesados 2013. Remoción de plomo y níquel en soluciones acuosas usando biomasas lignocelulósicas: una revisión. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 479-489, Julio-Diciembre, 2013
9. Tejada, C., Villabona, Á., & Ruiz, V. (2012). Biomasa residual para remoción de mercurio y cadmio: una revisión. Ingenium, 6(14), 11-21.
10. Consultado el 11 de marzo de 2015. <http://www.traxco.es/blog/noticias-agricolas/eliminar-metales-pesados-en-e-l-agua>

SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA EL CONTROL DE PROCESOS EN LA PRODUCCIÓN, POSCOSECHA Y ANÁLISIS SENSORIAL DE CAFÉ ESPECIAL

INFORMATION SYSTEM FOR TRACKING THE PRODUCTION, POST-HARVEST AND SENSORY QUALITY OF THE SPECIALTY COFFEE

Heimar Hernán Coronado Hernández¹

Resumen

Este proyecto se desarrolló con el fin de plantear una solución tecnológica mediante un desarrollo de software que permita a los caficultores registrar la información desde el momento de siembra hasta el análisis sensorial de la calidad de café. Esta solución se realizó teniendo en cuenta que no se han aplicado sistemas de información específicamente al renglón económico de la caficultura. Para desarrollar el trabajo se realizó un análisis de variables y el diseño estructural de la base de datos. Esta labor se realizó utilizando MySQL como motor de base de datos; la codificación en lenguaje PHP, JQuery y Javascript; como resultado se obtuvo un sistema de información web que consta de tres módulos: producción, poscosecha y análisis sensorial. Este sistema se puede aplicar con los caficultores para llevar control de los procesos.

Palabras clave: : sistema de información, desarrollo tecnológico, café especial, análisis sensorial de café, producción de café

Abstract

This technological development project has been developed to propose a technological solution through a software design, that allows the coffee growers to register information along the whole coffee process, from the sowing to the sensory quality of the coffee. This technological solution has been proposed due to the prevalent need for having information systems in the economic line of Colombian coffee industry. This Project included: 1. Analysis of the

¹ Colombiano. Ingeniero de Sistemas. Candidato a Magister en Direccionamiento Estratégico en Ingeniería de Software, Líder Sennova, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), La Plata, Huila, Colombia. hcoronado@sena.edu.co, Tel 57 – 8-370987 IP 83737

variables, 2. Structural design with MySQL database engine, and 3. Coding, which was performed in PHP, JQuery and Javascript languages. A web information system was obtained as a product of this project, which consists of three modules: production, post-harvest and sensory analysis. This information system can be used by the coffee growers for tracking the entire coffee process.

Keywords: information system, technology solution, sensory quality of the coffee, speciality coffee, coffee production

1. Introducción

Con la implementación de tecnología en la agricultura hoy es posible tener conocimiento de las actividades realizadas, gracias al registro de datos en equipos de cómputo que aportan, además, a la comercialización. Tal es el caso desarrollado en la Pampa Argentina, con la incorporación de las Tecnologías de la información y comunicación (TIC), las cuales facilitan el contacto directo con los compradores, así mismo las fuentes de conocimiento se hacen accesibles para tomar decisiones en beneficio de los cultivos (Urcola, 2012).

Los sistemas de información y aplicaciones web implementados en la agricultura son otra herramienta tecnológica que permite llevar un control seguro de los registros, con soluciones en servidores web que facilitan el uso en diferentes sistemas operativos; así mismo, su utilización no requiere de amplios conocimientos de informática, un ejemplo es SISCORFI, una aplicación web que registra la ubicación de los bancos de semilla, disponibilidad de variedades y el uso en la explotación agrícola, con esto, se tiene información de los recursos fitogenéticos de un Programa de Innovación Local desarrollado en Cuba (Rodríguez, Cánovas, & Pérez, 2013).

Así mismo, se encuentra International Crop Information System (ICIS), un sistema para el registro de recursos genéticos y cosecha que cuenta con aplicaciones separadas para cultivos, como lo es: International Rice Information System (IRIS), un sistema global para la gestión e integración de recursos genéticos y mejoramiento de germoplasma. (Rodríguez, Cánovas, & Pérez, 2013)

En Colombia el Centro Nacional de Investigación de Café (CENICAFÉ), a través de estudios ha incluido procesos de ingeniería para mejorar las labores en la producción de café. Oliveros & Sanz (2013) registran los aportes hechos en busca de reducir costos como lo son la determinación de propiedades físicas y mecánicas, como base para desarrollar tecnología que permita la recolección de frutos maduros ágilmente. Sin embargo, la maduración del café sin uniformidad y la estructura del árbol hacen que sea difícil implementar.

Aunque en Colombia ya se están aplicando las TIC en la producción de diferentes cultivos, aún es incipiente el uso de este tipo de tecnologías en la caficultura. En muchos casos los cultivadores de café no llevan registros organizados de todo el proceso que realizan en sus cafetales; o, en caso contrario, llevan los registros de manera tradicional, es decir, en cuadernos y archivos físicos. Lago et al. (2011) plantean la necesidad de incorporar herramientas tecnológicas en agricultura con el uso de georreferenciación y bases de datos para dar soporte en el manejo de cultivos; además, existe la necesidad de registrar información de cada proceso y llevar control por lotes o secciones.

Teniendo en cuenta lo anterior, se diseñó e implementó una herramienta tecnológica tipo sistema de información para registrar los datos obtenidos durante toda la cadena productiva, es decir, durante las fases de producción, poscosecha y análisis sensorial.

El objetivo de este proyecto consiste en aportar una solución tecnológica útil para tres actores clave: los caficultores, los catadores y los compradores de café. En este sentido, los caficultores pueden conocer la manera en la que llevan sus procesos y tomar decisiones que mejoren la calidad del producto; los catadores, evaluar los atributos o características de las muestras de café; y los compradores, conocer el perfil que resulta del análisis sensorial.

Este análisis permite medir los atributos presentes en el producto final según el estándar internacional fijado por la Specialty Coffee Association of America (SCAA).

2. Metodología

Este trabajo se desarrolló en tres momentos:

2.1 Análisis de variables y diseño

En el municipio de Paicol, departamento del Huila, se realizaron visitas a 16 fincas que son propiedad de los aprendices del Técnico en Producción de Café Especial del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Usando técnicas de recolección de información por observación y entrevista, se determinaron los actores involucrados y los recursos utilizados en la producción de café. Por medio de la metodología Unified Modeling Language (UML) se especificaron los requisitos del software y verificaron las correcciones del modelo (Zapata González, 2008).

2.1.1 Análisis sensorial

Las variables utilizadas para el análisis sensorial se tomaron según la calificación de atributos: fragancia/aroma, limpieza, dulzor, acidez, cuerpo, uniformidad, balance, sabor, sabor residual y el puntaje total.

El análisis sensorial o catación tiene un alistamiento en el que se obtienen las muestras

de café. A cada muestra se le asigna un identificador numérico para que el catador evalúe sin conocerlas, con equipos y reactivos. Gamboa, Mosquera & Paz (2013) describen el proceso de catación y medición de variables: para la muestra de 1200 gr de café pergamino seco, se hace verificación del porcentaje de humedad; después vienen la tostión, la molienda y la catación; en esta última se hace necesario agregar agua a 90 °C con movimientos circulares sobre el café molido servido en taza, con el fin de percibir el aroma de los vapores y gases liberados. Luego se prueba al sorber fuertemente buscando aromatizar dentro de la boca para evaluar taza limpia, dulzor, acidez, cuerpo, sabor, sabor residual, balance e impresión global.

Teniendo claridad sobre los procesos y los requerimientos se realizó el modelo de datos con un diagrama Entidad - Relación; se establecieron las entidades con sus atributos y las relaciones con cardinalidad, llaves primarias y foráneas; luego este diagrama se llevó a lenguaje Structured Query Language (SQL), utilizado para crear la base de datos. De esta manera se representa la información a través de un diagrama que agiliza y mejora el proceso de desarrollo de software (Zapata, González & Chaveta, 2011)

2.2 Desarrollo del sistema de información

El objetivo de esta fase es implementar el diseño en un producto de software. Para ello se hace la codificación en un lenguaje de programación (Gasca, Camargo & Medina, 2013). En la codificación se definen los estándares de escritura, como lo plantean Mosquera, Ocampo & García (2014). En el desarrollo del código fuente se identifican la estructura y los comentarios del código, las funciones, métodos y clases de variables para facilitar la programación del sistema en equipos de trabajo.

El lenguaje de programación PHP utilizado en este proyecto, se convierte en el fundamento

para el código que se genera como parte del producto (Zapata & Chaverra, 2010). Este lenguaje permite hacer desarrollo web. Rodríguez, Cánovas & Pérez (2013) plantearon el uso de tecnologías web del lado del servidor que soportan programación orientada a objetos, con facilidad de uso y mantenimiento al encontrarse en un servidor con acceso a internet. Para complementar el desarrollo se utilizó estructura JQuery y Javascript.

Con el diseño establecido se hicieron pruebas para dar cumplimiento a los requerimientos funcionales y no funcionales; los primeros gestionan datos de los escenarios productivos, estrategias de dirección y los reportes especializados; mientras que los segundos hacen referencia a las propiedades o cualidades que el sistema debe poseer (Quevedo, J. R., & Suárez, J., 2015).

En el desarrollo del sistema de información se establecieron controles de usuario para los actores involucrados en el proyecto (caficultores, catadores y compradores de café), de tal manera que cada uno de ellos tuviera participación de acuerdo a sus funciones. Esto es lo que plantea Cadena (2012) en el Sistema Agropecuario de Información, en el cual interactúan las instituciones de investigación, de educación y de extensión para beneficiar al productor y su familia. A esto se le conoce como sistema de conocimiento.

Para el diseño del entorno gráfico al que accede el cliente se utilizó Framework de Bootstrap3, HTML5 y CSS3

2.3 Calidad de software

Con base en la norma ISO/IEC 25010:2011 se plantearon las características para evaluar la calidad del producto: funcionalidad, rendimiento, compatibilidad, usabilidad, fiabilidad, seguridad, mantenibilidad y portabilidad (Lee & Kim, 2015)

3. Resultados

El resultado final de este proyecto es el desarrollo e implementación de un sistema de información que consta de tres módulos: producción, poscosecha y análisis sensorial de café especial.

3.1 Fase de producción: las variables obtenidas se tomaron según las características de cada lote, es decir, de los predios se determinaron los que manejan café especial e implementan las BPA; estos se delimitaron usando Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) para medir su área.

En esta fase se establecieron las siguientes variables:

- Variedad del cultivo: se tomaron las predominantes en la zona y se ubica por medio de un List box para seleccionar una de estas opciones: Típica, Borbón, Tabi, Caturra, Variedad Castillo.
- Edad del cultivo: en este campo se registra la fecha de siembra del cultivo.
- Topografía del terreno: aquí es posible seleccionar entre ondulado, plano, llano y pendiente.
- Distancia de siembra: el valor a digitar es la distancia entre cada árbol de café sembrado (el dato es numérico).
- Periodo de recolección: permite seleccionar el periodo por semana, quincenal, mensual y trimestral; estos son diferentes a la etapa de maduración del grano, es decir, en cosecha los tiempos de recolección aumentan.
- Tipo de recolección: se establecieron tipos de recolección estándar y óptima.
- Altura sobre el nivel del mar: en este campo se

registra la altura en la que se encuentra cada lote; puede tener variaciones mínimas según la topografía de la zona.

3.2 Fase de poscosecha: después de recolectado, el grano el grano se lleva a la etapa de beneficio. En esta se identificaron las siguientes variables:

- Tipo de almacenamiento: en esta variable se describe el almacenamiento antes del despulpado y el lavado.

- Tiempo de secado: en este campo se escriben numérico los días de secado en valor.

3.3 Fase de análisis sensorial: esta fase se tiene en cuenta para establecer las características del producto según atributos fijados por la SCAA.

Como alistamiento del proceso de análisis sensorial se debe registrar el análisis físico, que contiene: humedad del grano, peso de la almendra, peso almendra sana, peso de la cascarilla, peso de pasilla.

Figura 1. Formulario registro producción. **Fuente:** autor

- Tipo de alberca: se describe según la forma y medidas.

- Sistema de despulpado: descripción del sistema para despulpar.

- Tiempo de fermentación: se digita el valor numérico establecido para la fermentación, teniendo en cuenta que se registra por lotes de producción.

- Tipo de secado: se escribe el equipo o mecanismo utilizado para secar el café.

Los campos que se registran en el proceso específico de análisis sensorial son: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, dulzor, uniformidad, balance, taza limpia, dulzor; además, selección de defectos y el puntaje del catador.

4. Conclusiones

El sistema de información se validó con los datos recolectados en las 16 fincas cafeteras de los aprendices del Técnico en Producción de Café Especial. La validación resultó positiva.

Salir

Asociación de cafés especiales de América

Nombre : catador 1
Fecha : 21-12-2015

★ 219

Lote 219

Clasificación

Bueno	Muy Bueno	Excelente	Extraordinario
6.00	7.00	8.00	9.00
6.25	7.25	8.25	9.25
6.50	7.50	8.50	9.50
6.75	7.75	8.75	9.75

☆ 219

Lote 219

☒ Fragancia/Aroma/Sabor
☒ Acidez y Cuerpo
☒ Uniformidad y Balance
☒ Taza Limpia Y Dulzor
☒ Puntaje Final
☒ Finalizar Panel #1

Figura 2. Formulario registro de variables de análisis sensorial. **Fuente:** autor

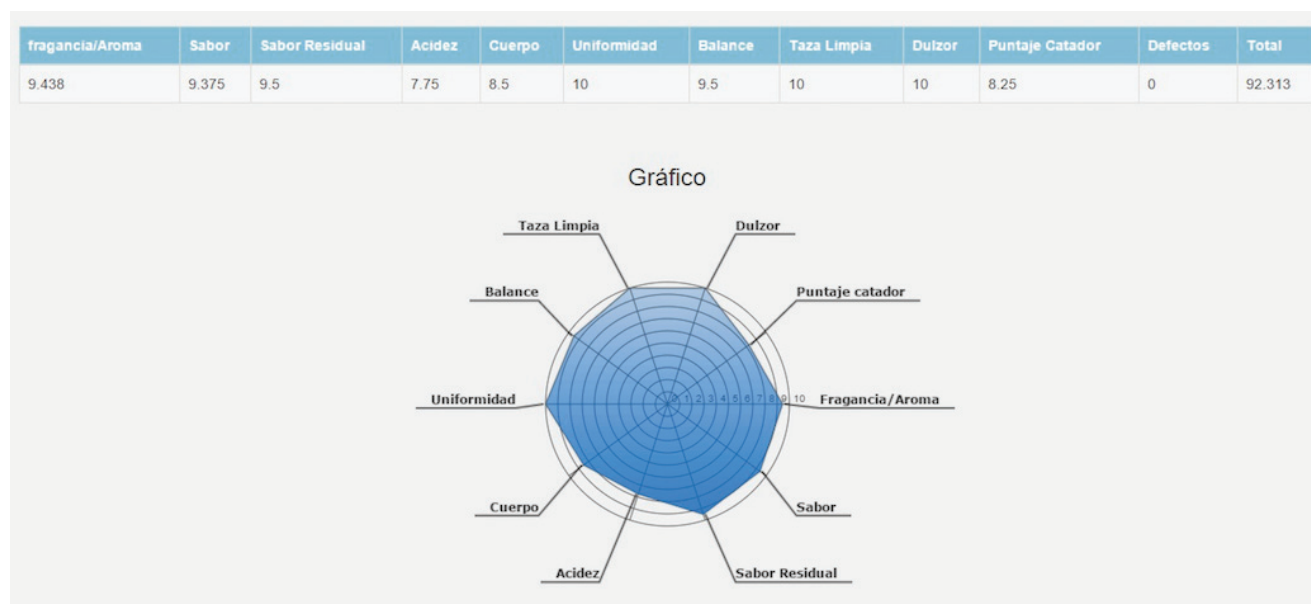


Figura 3. Imagen con resultados en forma de gráfica. **Fuente:** autor

La evaluación del sistema de información se llevó a cabo con información recolectada en la 5ta Feria Departamental de Café Especial en La Plata (Huila). Se encontraron formularios a mejorar por funcionalidad; sin embargo, con los ajustes realizados se hizo una nueva evaluación con participación de dos catadores del SENA para cumplir con los requerimientos y las características de calidad.

De acuerdo a las pruebas realizadas al sistema de información, se evidencia el funcionamiento y la aplicabilidad por parte de los caficultores, de tal manera que ellos puedan llevar un registro claro y organizado de toda la cadena productiva del café: producción, poscosecha y análisis sensorial.

Al conocer con detalle todo el proceso que ha

realizado en cada fase, el caficultor puede tomar decisiones que le ayuden a mejorar cada vez más la calidad de su café en aras de comercializarlo a un mejor precio. Además, el sistema de información fortalece la comercialización del producto debido a que los compradores pueden conocer los atributos y el puntaje del café y comprar el que resulte de su interés.

El sistema reduce el tiempo que utiliza un catador para evaluar las variables del análisis sensorial y obtener los resultados, pues el mismo sistema se encarga de realizar los cálculos, procesar la información y arrojar el puntaje final del perfil del café.

Además, la portabilidad y usabilidad del sistema de información facilitan su implementación en dispositivos electrónicos como tablets o teléfonos móviles.

Esta solución tecnológica tipo sistema de información da respuesta a la necesidad del sector cafetero de aplicar tecnologías que benefician a los actores que hacen parte del proceso productivo del café.

5. Referencias bibliográficas

1. Cadena Iñiguez, P. (2012). El sistema agropecuario de información en la Frailesca para promover la innovación de tecnologías* The farming information system in La Frailesca to promote innovation of technologies. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3, 863–877.
2. Gamboa, P. Y., Mosquera, S. A., & Paz, I. E. (2013). Caracterización de taza de café especial en el municipio de Chachagüi, Departamento de Nariño, Colombia. *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 11(2), 85–92.
3. Gasca Mantilla, M. C., Camargo Ariza, L. L., & Medina Delgado, B. (2014). Metodología para el desarrollo de aplicaciones móviles. *Tecnura*, 18 No 40, 20–35. Retrieved from <http://tecnura.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/767>
4. International Standard. ISO/IEC 25000 (2005). Software engineering, Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE), Guide to SQuaRE
5. Lago González, C., Sepúlveda Peña, J. C., Barroso Abreu, R., Fernández Peña, F. O., Maciá Pérez, F., & Lorenzo, J. (2011). Sistema para la generación automática de mapas de rendimiento. Aplicación en la agricultura de precisión System for the automatic generation of yield mapping with application in precision farming. *IDESIA*, 29, 59–69.
6. Lee, H., & Kim, J. (2015). Efficiency Evaluation Convergence Model of Virtual Private Network based on CC and ISO Standard. *Journal of Digital Convergence*, 169–176. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.14400/JDC.2015.13.5.169>
7. Mosquera Díaz, J., Ocampo Cortés, O., & García Monsalve, L. S. (2014). Functional Prototype of a Web Information System to Assist Planning Software Projects , Based on CMMI-DEV 1 . 2. *Tecciencia*, 9(17), 67–77.
8. Oliveros Tascón, C. E., & Sanz Uribe, J. R. (2011). Ingeniería y café en Colombia. *Revista de Ingeniería*. Universidad de Los Andes, (33), 99–114.
9. Quevedo, J. R., & Suárez, J. (2015). BiomaSoft: Ingeniería y café en Colombia. *Revista de Ingeniería*. Universidad de Los

10. Rodríguez González, O.-, Cánovas Denis, R.-, & Pérez Gutiérrez, A. (2013). SISCORFI : una aplicación web para el control de los recursos fitogenéticos SISCORFI : a web application to control phytogenetics resources. *Revista Cultivos Tropicales*, 34(3), 25–31.
11. Urcola, M. (2012). Articulación de las “TIC” en el sector agrícola pampeano: la apropiación de la telefonía celular, las computadoras e internet entre los productores de una localidad del sur santafesino. *Revista Temas Y Debates*, 23, 73 – 100.
12. Zapata, C. M., & González, G. (2008). Especificación Formal En Ocl De Reglas Interfaces Formal Ocl Specification of Consistency Rules Between the Uml Class and the Use. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 7(12), 169–191.
13. Zapata Jaramillo, C. M., & Chaverra, J. J. (2010). Una mirada conceptual a la generación automática de código. *Revista EIA*, 13(ISSN 1794-1237), 143–154. Retrieved from [http://revista.eia.edu.co/articulos13/art.10\(143-154\).pdf](http://revista.eia.edu.co/articulos13/art.10(143-154).pdf)
14. Zapata Jaramillo, C. M., González Calderón, G., Chaverra Mojica, J. J. (2011). Generación automática del Diagrama Entidad-Relación y su representación en SQL desde un lenguaje controlado (UN-LENCEP). *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 10(65), 127–135.

PARÁMETROS PARA PUBLICAR EN LA REVISTA NOVA

La revista NOVA es una publicación del Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación del SENA para fortalecer y visibilizar la investigación en Colombia. Se propone publicar artículos de alta calidad científica para promover y divulgar los resultados de investigación aplicada, desarrollo tecnológico e innovación enfocados hacia la industria, con el fin de establecer un intercambio científico activo a nivel local, regional y global.

OBJETO DE LA CONVOCATORIA

Convocar a los investigadores de los Centros de Formación Profesional del SENA y grupos de investigación para que presenten artículos producto de la investigación aplicada, la innovación y el desarrollo tecnológico, tendientes al fortalecimiento de la visibilidad y difusión de resultados, a través de las siguientes modalidades:

- A. Artículos científicos terminados que muestren resultados de investigación aplicada, innovación y desarrollo tecnológico. Máximo 15 páginas.
- B. Artículos de reflexión que presenten resultados de investigación aplicada, innovación y desarrollo tecnológico desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor. Máximo 15 páginas.
- C. Artículos de revisión que analicen, sistematicen e integren los resultados de investigaciones publicadas o

no, sobre investigación aplicada, innovación y desarrollo tecnológico con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Máximo 15 páginas.

D. Artículos cortos que presenten resultados originales, preliminares o parciales, de investigación aplicada, innovación y desarrollo tecnológico. Máximo 10 páginas.

E. Reportes de caso que presenten los resultados de un estudio sobre una situación particular, con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas de la investigación aplicada, la innovación y el desarrollo tecnológico. Entre 5 y 10 páginas.

REQUISITOS DE PARTICIPACIÓN

Envío de resúmenes

1. Los autores interesados en publicar deben enviar un resumen de su artículo al correo hcoronadoh@sena.edu.co máximo de 400 palabras, en el que identifiquen la investigación de la cual se origina su artículo, el problema que se aborda, la metodología y los resultados obtenidos.
2. El resumen debe ir acompañado de la siguiente información:
 - a. Título del artículo (en español).
 - b. Datos del autor o los autores con los nombres y apellidos completos.
 - c. Fecha elaboración del resumen.

- d. Centro de formación al que pertenece.
- e. Grupo de investigación al que pertenece.
- f. Línea de investigación o Red de Conocimiento a la que pertenece.
- g. Correo electrónico de los autores.
- h. Dirección, teléfono fijo, celular.

3. La recepción de los resúmenes no implica necesariamente la publicación del artículo en tanto los textos deben seguir un riguroso proceso de evaluación realizado por pares académicos.

4. Las personas cuyos resúmenes sean aprobados recibirán un correo electrónico con el plazo máximo de entrega del artículo final.

5. Si los árbitros llegan a sugerir ajustes, los autores se comprometerán a entregar la nueva versión en un plazo no mayor a dos semanas (15 días calendarios), luego de recibidas las observaciones.

Parámetros de publicación:

1. Los artículos remitidos deben ser inéditos, originales, escritos en español o en inglés y no publicados con anterioridad o simultáneamente en otra revista o en línea.

2. Para su publicación, los artículos deben ser enviados en las fechas establecidas dentro del cronograma del proceso de edición; la recepción de los artículos se hará con el rigor de estas fechas.

3. Los artículos deben ser enviados al correo electrónico hcoronadoh@sena.edu.co

4. El proceso de producción editorial iniciará cuando los artículos cumplan con las características de entrega y presentación de documentos incluidas en este documento.

5. El autor o los autores deben presentar el artículo original en formato digital, o enviarlo por correo electrónico en una versión reciente de Microsoft Word,

en tamaño carta, a espacio doble y en letra Arial de 12 puntos.

6. El artículo científico debe tener una extensión máxima de 15 páginas y una mínima de 10 páginas.

7. El artículo debe contener el título, resumen, palabras clave y cuerpo del trabajo (materiales y métodos, resultados, conclusiones y bibliografía).

8. En la primera página del artículo debe escribirse la siguiente información:

- a. Título del artículo (en español).
- b. Datos del autor o los autores con los nombres y apellidos completos.
- c. Fecha de recepción y aceptación del artículo.
- d. Reseña del autor o de los autores con una extensión máxima de 800 caracteres con formación, ocupación actual y cargos anteriores.
- e. Centro de formación al que pertenece.
- f. Grupo de investigación al que pertenece.
- g. Línea de investigación o Red de Conocimiento a la que pertenece.
- h. Correo electrónico de los autores.
- i. Dirección, teléfono fijo, celular.

9. Imágenes, gráficos y tablas. En caso de contener mapas, cuadros, tablas, fórmulas o ilustraciones, estas deben estar claramente descritas, en orden y en los programas originales o en los formatos gráficos: jpg, tiff o bmp, con resolución de 300 dpi (dots per inch o puntos por pulgada).

10. En el caso de tratarse de cuadros, tablas o gráficos de elaboración propia, es indispensable presentarlos en formato editable (por ejemplo en programa Excel).

11. La información de texto, gráficos e imágenes debe ser presentada en una sola tinta y debe tener la correspondiente autorización para su publicación.

PARÁMETROS PARA PUBLICAR EN LA REVISTA NOVA

12. Cada tabla, cuadro, figura o imagen debe llevar una leyenda que describa con claridad el material presentado y la fuente en normas APA.

13. En caso de ser necesario, se deben anexar los permisos para la reproducción de tablas, cuadros, figuras e imágenes que estén protegidos por el derecho de autor.

14. El artículo debe traer un resumen en español con una extensión máxima de 250 palabras que sintetice los objetivos, metodología, resultados y conclusiones de la investigación.

15. Se deben adicionar las palabras clave (de 4 a 6).

16. Se deben presentar el resumen (Abstract) y las palabras clave (Keywords) en inglés.

17. Los artículos de la revista de investigación utilizarán el sistema de referencias APA

18. Los artículos serán sometidos a una evaluación del comité científico y editorial y de árbitros anónimos. Estos estudiarán cada artículo y decidirán si es conveniente su publicación.

19. En algunos casos, podrán aceptar el artículo con algunas modificaciones o podrán sugerir la forma más adecuada para su presentación.

20. El artículo definitivo se remite al autor o a los autores

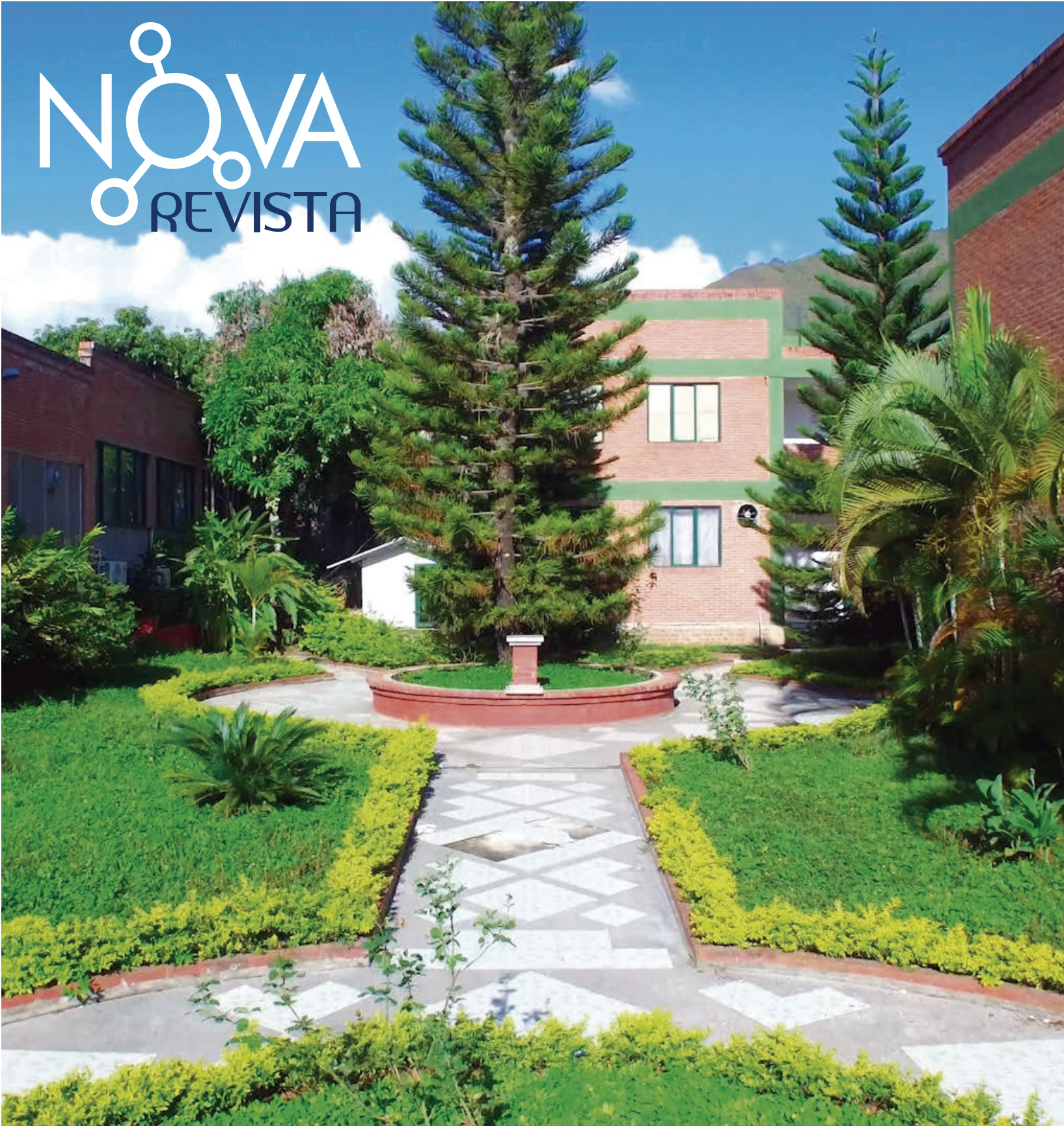
para la aprobación de su versión final.

21. La aceptación y el rechazo para la publicación de este serán notificadas al autor o a los autores, quienes conocerán el concepto de los jueces anónimos que lo evaluaron.

22. En caso de ser aceptado, el autor o los autores deben firmar una autorización cuyo formato será suministrado por el profesional de apoyo a la gestión editorial. El documento se debe entregar en un archivo de Word (Versión 2000 en adelante).

23. El autor o los autores recibirán tres ejemplares de la publicación una vez impresa.

24. Si alguien ajeno al autor o a los autores presenta un artículo representándolo(s), debe adjuntar un poder que lo acredite como apoderado o una prueba de adquisición del derecho a publicar a nombre del autor o autores.



Centro de Desarrollo Agroempresarial y Turístico del Huila