

**DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS DIFERENTES
ÁREAS DENTRO DEL HUMEDAL EL YULO MEDIANTE EL ANÁLISIS
MULTICRITERIO Y LAS HERRAMIENTAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
(RICAURTE, CUNDINAMARCA-2019)**

KEVIN ALONSO CARDONA PEREZ

Cód. 363215217

ALBEIRO RENE PARRA TRUJILLO

Cód. 363215256

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

INGENIERÍA AMBIENTAL

GIRARDOT

2020

**DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS DIFERENTES
ÁREAS DENTRO DEL HUMEDAL EL YULO MEDIANTE EL ANÁLISIS
MULTICRITERIO Y LAS HERRAMIENTAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
(RICAURTE, CUNDINAMARCA-2019)**

KEVIN ALONSO CARDONA PEREZ

Cód. 363215217

ALBEIRO RENE PARRA TRUJILLO

Cód. 363215256

Trabajo de grado presentado para optar al título de ingeniero ambiental

Director (a): Jack Fran Armengot García Perez

Biólogo- Maestría en Ciencias Biológicas

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

INGENIERIA AMBIENTAL

GIRARDOT

2020

Notas de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIA

A Dios por acompañarme y guiarme en este camino en el cual encontré muchas adversidades; a mis padres German Mauricio Parra y Lucaris Trujillo quienes, con su amor, comprensión y esfuerzos me brindaron la oportunidad de estudiar una carrera profesional y así poder cumplir uno de mis tantos sueños, gracias por inculcar en mí la gana de cada día ser una mejor persona.

A María paula Chavarro por su apoyo incondicional durante la mayor parte de este proceso gracias por sus consejos y acompañamiento cuando más lo necesitaba, a mi compañero de trabajo Kevin Alonso Cardona quien fue una de las personas más allegadas en este largo camino el cual me brindó su amistad y apoyo en la ejecución de este proyecto.

A toda mi familia por sus consejos, palabras alentadoras y de una u otra manera por su apoyo, y por último a mis amigos los cuales hacen que este camino universitario sea más ameno y agradable.

Albeiro Rene Parra Trujillo

A Dios por acompañarme y guiarme en este proceso; a mis padres y hermanas, que siempre me han acompañado y apoyado con su amor incondicional para cumplir mis metas.

Kevin Alonso Cardona Perez

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios sobre todas las cosas.

Agradecemos al Docente y director de este trabajo Jack García por su paciencia y guía durante la realización de este proyecto.

Agradecemos a María paula Chavarro y Karen Camila Mejía Calderón por su acompañamiento en campo y colaboración durante la realización de este proyecto.

Agradecemos a la dirección regional del Alto Magdalena – CAR por su atención y colaboración con datos, que fueron de gran importancia para la elaboración de este proyecto.

Se extiende los Agradecimientos al Docente John Jairo Sandoval Valencia, a los programas de ingeniería ambiental de la universidad de Cundinamarca, La universidad Santo Tomas, la Institución Universitaria Politécnico Gran Colombiano y el Instituto de Recursos Naturales y Agro biología de Sevilla (IRNAS) España, entidades participantes del proyecto “Transferencia de conocimientos para la recuperación de suelos degradados bajo ecosistemas de Bosque seco tropical (Colombia) y Mediterráneo (España)” con referencia COOPB20365 del Programa de cooperación internacional I-COOP+ 2018, por la caracterización fisicoquímica de las muestras de suelos del humedal el Yulo.

CONTENIDO

Resumen	10
1. INTRODUCCIÓN	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. OBJETIVOS	16
4.1. Objetivo General	16
4.2. Objetivos Específicos	16
5. MARCO REFERENCIAL	17
5.1. Marco teórico	17
5.2. Marco Legal	24
6. DISEÑO METODOLÓGICO	26
6.1. Área de estudio	26
6.2. Caracterización de Coberturas	27
6.3. Invertebrados edáficos.	30
6.4. Mapa temático Estimación de contenido de Carbono Orgánico del suelo.	31
6.4.1. Selección y transformación de base de datos.	34
6.4.2. Predicción del Cos en el Humedal el Yulo.	35
6.5. Algebra de mapas	37
7. Resultados y discusión	40

7.1. Caracterización de Coberturas	40
7.1.1. Calculo índices	40
7.1.2. Mapeo de coberturas.	42
7.2. Invertebrados edáficos	47
7.3. Estimación de contenido de Carbono Orgánico del suelo	49
7.4. Algebra de mapas	51
8. Conclusiones	53
9. Recomendaciones	55
10. Anexos	56
9. Bibliografía	66

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1	Características de variables del suelo	40
TABLA 2	Cuadro de ponderaciones y relación de rangos	41
TABLA 3	Coberturas y su área representativa	46
TABLA 4	Carbono organico del suelo retenido	50
TABLA 5	Estado de conservación de la cobertura	53

LISTADO DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1.	Esquema Metodológico	23
ILUSTRACIÓN 2.	Mapa Humedal El Yulo	26
ILUSTRACIÓN 3.	Mapa Delimitación De La Reserva Humedal El Yulo	28
ILUSTRACIÓN 4.	Características imagen landsat 8	28
ILUSTRACIÓN 5.	Satelital del humedal el Yulo geo referenciado	28
ILUSTRACIÓN 6.	Satelital Landsat	29
ILUSTRACIÓN 7.	Construcción del polígono de herbazal denso inundable	30
ILUSTRACIÓN 8.	Esquema procedimental para el cálculo del factor LS	33
ILUSTRACIÓN 9.	Puntos de monitoreo de carbono orgánico del suelo	35
ILUSTRACIÓN 10.	Calibración del algoritmo RANDOM FOREST	36
ILUSTRACIÓN 11.	Configuración de los parámetros de predicción Cos	38
ILUSTRACIÓN 12.	Puntos con el nuevo dato desplegado	37
ILUSTRACIÓN 13.	Calculo índice normalizado de la diferencia de humedad	40
ILUSTRACIÓN 14.	Índice de vegetación de diferencia normalizado	41

ILUSTRACIÓN 15. Combinación RGB 562	44
ILUSTRACIÓN 16 COMBINACIÓN RGB 654	42
ILUSTRACIÓN 17 combinación RGB 564	45
ILUSTRACIÓN 18 combinación RGB 523	42
ILUSTRACIÓN 19 Mapa de coberturas HY_1	44
ILUSTRACIÓN 20 Mapa de coberturas HY_2	45
ILUSTRACIÓN 21 Riqueza de biodiversidad edáfica Humedal el Yulo	48
ILUSTRACIÓN 22 Estimación de carbono orgánico del suelo	49
ILUSTRACIÓN 23 Mapa temático del estado de conservación	51

RESUMEN

El humedal el Yulo es uno de los pocos humedales de Bosque Seco Tropical, ubicado sobre la cuenca del río Bogotá (Jiménez & Daza, s.f.; Rojas & Díaz, 2016), reconocido como zona de protección por la CAR en el 2006, pero que al ser en parte de propiedad privada sigue siendo afectado por acciones antropogénicas (Consejo Municipal De Ricaurte, 2016).

El presente estudio estuvo orientado a generar un diagnóstico preliminar de componentes fisicoquímicos y biológicos del suelo y las coberturas asociadas a la ronda hídrica del humedal el Yulo, para ello se delimitaron dos componentes de análisis, el primero relacionado con la caracterización del suelo con las variables físico químicas (carbono orgánico del suelo, pH, variables topográficas) y el segundo componente relacionado con la fauna de invertebrados edáficos y coberturas asociadas a la ronda de protección.

Metodológicamente en la ronda del humedal se realizó una evaluación multicriterio con ayuda de la herramienta SIG bajo una valoración jerárquica teniendo como referente las variables ambientales de coberturas dentro de la ronda del humedal, el índice normalizado de vegetación, la riqueza de fauna edáfica, la pendiente y el contenido de carbono orgánico del suelo.

Como resultado principal se obtuvo un mapa temático que representa el estado actual de diferentes áreas de la ronda del humedal, siendo relevante a mediano y largo plazo para fortalecer el Plan de Manejo Ambiental (Salazar, 2006), el EOT del Municipio de Ricaurte y otras directrices relacionadas con este ecosistema estratégico.

Palabras claves

PMA, Humedal el Yulo, GIS

1. INTRODUCCIÓN

Los humedales son los sumideros más efectivos del planeta, siendo reconocido en el Acuerdo de París en la COP21 de 2016 al limitar la cantidad de carbono presente en la atmósfera, convirtiéndose en una solución fundamental al gran reto que enfrenta el planeta en la actualidad de afrontar el cambio climático y a la vez limitar el calentamiento global (Iturraspe, 2010; Unidas y Clim, 1999), por lo cual países de Latinoamérica se han sumado a este reto; bajo este frente de acción Colombia es uno de estos países que ha tomado diversas e importantes medidas en diferentes ecosistemas, pero estas no han sido efectivas para su protección (López, Duarte y Moreno, 2015; MINAMBIENTE, 2017).

Estudios como el de Ayala (2002) han demostrado el deterioro en que se encuentran algunos ecosistemas como los humedales, resultando ser efectivos para hacerle frente al cambio climático y la retención de carbono. La Secretaria General en su Declaración en nombre de la Convención de Ramsar sobre los Humedales indicó “Los humedales desempeñan una importante función en la mitigación, ya que son los sumideros de carbono más eficaces del planeta y a la vez son responsables por sí solos del 5 % del total de las emisiones de efecto invernadero si son drenados” (RAMSAR, 2016).

Los humedales además de la retención del carbono, son ecosistemas que presentan diversidad de funciones importantes como el almacenamiento de agua, la recarga de acuíferos, la protección y mitigación de tormentas, diversidad biológica y el control de la erosión produciendo así mismo bienes de un valor económico apreciable, como agua salubre, recursos ictiológicos, madera, turba, y recursos y posibilidades turísticas, que por diversos factores de planificación y técnicas de manejo inadecuadas, en conjunto con políticas de desarrollos sectoriales inconsistentes y

desarticuladas, no cuentan con la protección necesaria lo cual conlleva a su degradación y por ende a la pérdida de los bienes y servicios tan extensos que prestan (Herrera et al., 2008; Unidas y Clim, 1999; Ramsar, 2013; Senhadji et al., 2017)

Investigaciones precedentes, como las realizadas por Rojas y Díaz (2016), García y Galindo (2017), han resaltado el estado de deterioro que presenta el humedal el Yulo en sus funciones y atributos como ecosistema principalmente por la construcción de condominios y parcelaciones en el área de la ronda hídrica.

A pesar que en octubre de 2006, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), expidió el Acuerdo 39 de 2006, por el cual se declara como Reserva Hídrica y se establece su franja de protección y se adoptan otras declaraciones, siendo este Acuerdo el resultado del contrato de consultoría No 419 de 2005, el ecosistema es de propiedad privada y sigue siendo afectado por acciones antropogénicas (Consejo Municipal De Ricaurte, 2016).

Teniendo en cuenta lo anterior, se debe buscar y proponer nuevos criterios para dar bases a las entidades encargadas de proteger el humedal como estrategias de planificación y manejo integral, como base para el fortalecimiento del Plan de Manejo Ambiental, EOT del Municipio de Ricaurte y otras directrices o procesos que actualmente se adelantan en él.

El carbono retenido en el suelo de un humedal, es considerado conductor primario de todos los procesos vitales, teniendo gran relación con las coberturas y la macrofauna del suelo así como de las diferentes propiedades básicas del mismo; una adecuada relación y buen estado de las diferentes variables permite que dentro de estos ecosistemas se encuentren suelos más fértiles y sanos con características esenciales como la reducción de efectos erosivos, aumento de la biodiversidad (artrópodos y lombrices), reducción la evaporación del agua del suelo, mantiene la humedad del

suelo, incremento del contenido de materia orgánica (Burbano, 2018). De este modo, para este estudio resulta importante conocer la relación que hay entre estos reservorios y la caracterización edafológica del Humedal El Yulo, además de evaluar cuáles son las condiciones de conservación de este ecosistema reserva hídrica del departamento de Cundinamarca.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de las problemáticas globales que presentan los humedales se puede mencionar que a menudo son considerados terrenos baldíos, es decir, zonas que hay que drenar, rellenar y convertir a otros fines, como la agricultura y el pastoreo, así mismo también se encuentra la desviación de agua mediante represas, diques y canalizaciones en conjunto con el desarrollo de infraestructuras, particularmente en valles fluviales y zonas costeras así como la contaminación del aire y del agua y el exceso de nutrientes (RAMSAR, 2013)

En Colombia el Ministerio de Ambiente (2002), determinó que existían más de 20 millones de hectáreas de humedales; de las cuales solo el 3,9 % de los humedales se encuentran bajo alguna figura de protección (Olmos Martínez, González Ávila, y Contreras Loera, 2013). El humedal el Yulo localizado en el municipio de Ricaurte, aunque fue reconocido como zona de protección por la CAR en el 2006, aún sigue en proceso de recuperación y protección, proceso que es limitado debido a que el predio es de propiedad privada, y sigue siendo afectado por procesos de urbanización que presenta el Municipio y otros factores como el vertimiento de aguas residuales y ganadería (Rojas y Díaz, 2016; García y Galindo, 2016).

Al ser estos ecosistemas tan frágiles a las alteraciones, el humedal el Yulo se puede ver afectado en sus funciones y atributos como ecosistema lo que repercute en la pérdida de diversidad biológica y el equilibrio de la red trófica, disminución en el acceso de agua limpia, producción de alimentos, así como el impacto en su importancia cultural e histórica. Bajo estos criterios mencionados es muy probable una degradación en la resiliencia de este ecosistema siendo alterada su respuesta eficaz al cambio climático, permitiendo además la salida del carbono almacenado en el suelo en las formas de CO₂ y CH₄, gases GEI que representan peligro para el bienestar humano y del medio ambiente (RAMSAR, 2013; IPCC, 2013).

Bajo el panorama descrito y dada la importancia de proteger esta reserva hídrica, este estudio propuso analizar por medio de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), el contenido de carbono orgánico (Cos) en diferentes tipos de cobertura de la zona de protección, su relación con la macrofauna edáfica y las características fisicoquímicas por medio de mapeo digital de los factores que intervienen en el suelo, evaluando las áreas de acuerdo a su conservación en el humedal el Yulo.

3. JUSTIFICACIÓN

El Yulo es el último humedal de la cuenca baja del Río Bogotá, ubicado en el Municipio de Ricaurte (Cundinamarca), aunque fue declarado en el EOT del año 2000 como un área de emergencia y una reserva hídrica en el 2006 (Consejo Municipal De Ricaurte, 2016; Rojas & Díaz, 2016; Salazar, 2006), algunos estudios precedentes han demostrado que este sigue siendo afectado en sus funciones y atributos como ecosistema, debido a las intervenciones que presenta (Jiménez y Daza, n.d.; Rojas y Diaz, 2016), como lo son la alta tasa de urbanización, los vertimientos de aguas residuales y las actividades de ganadería (García y Galido,2017), lo que conlleva a la pérdida de los beneficios y valores como el control de sedimentos y erosión; mantenimiento de la calidad del agua y reducción de la contaminación, recreación y producción de alimentos y retención de Carbono.

Esta investigación busca dar fundamentos y herramientas que permitan a entidades y corporaciones encargadas de la protección del humedal el Yulo realizar un diagnóstico del estado actual del humedal; por ende, este estudio está enfocado a entender como los contenidos de carbono orgánico (Cos), condiciones fisicoquímicas y macrofauna edáfica presentes, fluctúan probablemente de acuerdo al estado de la cobertura del humedal el Yulo. Esto mediante la utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Determinar el estado de conservación de las diferentes áreas dentro del Humedal el Yulo mediante el análisis multicriterio y las herramientas de información geográfica (SIG)

4.2. Objetivos Específicos

1. Caracterizar los diferentes tipos de coberturas del humedal el Yulo con ayuda de sistemas de información geográfica
2. Analizar la riqueza de macrofauna por área dentro de la ronda del humedal
3. Estimar la cantidad de carbono orgánico (Cos) en el suelo de diferentes áreas presentes en la ronda hídrica, como variable directa de capacidad de fijación del ecosistema
4. zonificar el estado de conservación dentro de la ronda

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. Marco teórico

Los humedales

Los humedales reportan apreciables beneficios sociales, económicos y ambientales en todo el mundo. Las funciones importantes de los humedales comprenden el almacenamiento de agua, la recarga de acuíferos, la protección y mitigación de tormentas, la estabilización de las costas, el control de la erosión y la retención de carbono, produciendo asimismo bienes de un valor económico apreciable, como agua salubre, recursos ictiológicos, madera, turba, y recursos y posibilidades turísticas, que por diversos factores de degradación se están perdiendo (Unidas & Clim, 1999; Valencia & Figueroa, 2014). Los humedales y las turberas representan importantes depósitos de carbono y hacen una contribución apreciable al ciclo del carbono (Quintana et al, 2014), por lo que es preciso examinar cómo las fuerzas coetáneas del cambio en el uso de las tierras y del cambio climático podrían afectar a la función de los humedales en el ciclo global del carbono (Ayala, 2002.; Burbano, 2018; COMUNIDADES EUROPEAS, 2008), pero hasta ahora los encargados de formular políticas en Colombia han prestado poca atención a la relación entre el cambio climático y la conservación y el uso racional de los humedales, sin embargo, es probable que el cambio climático y el uso de la tierra, como otros agentes de degradación afecte a los humedales apreciablemente en su extensión espacial, su distribución y su función (Ihobe, Sociedad Pública del Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, 2011). En 1994, la mayoría de los países firmaron la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, con la intención de cooperar en el control del fenómeno. No obstante, años después se negoció el protocolo de Kyoto y se asignaron compromisos de reducir las emisiones de GEI, casi

no se logra suficiente respaldo para que entrara en vigor. La razón es que la convención y el protocolo parten de que la responsabilidad, aunque compartida, es diferenciada; es decir, hay una responsabilidad histórica de aquellas naciones que han emitido más GEI en el pasado. Esto explica por qué las naciones en desarrollo no tienen compromisos de reducción de emisiones de GEI aunque hoy sean grandes emisores, como China (García et al., 2017; IPCC, 2013). Colombia no se ha quedado atrás en este proceso, el presidente Juan Manuel Santos, en sus palabras de apertura del primer día de la Cumbre, anunció que al final de su gobierno podrá decir que aumentó la cobertura de áreas protegidas en siete millones de hectáreas, la ampliación de Chiribiquete, un parque tan grande como Bélgica, es una de las acciones que se han tomado para cumplir con esta meta (Burbano, 2018; RAMSAR, 2016).

Determinación de contenidos de carbono

Al ser el suelo tan heterogéneo es importante definir unidades muestreo adecuados para la eficaz interpretación de los resultados obtenidos en el laboratorio. De esta forma, se puede decir que hay técnicas para el muestreo de suelos en aspectos como fertilidad, clasificación, física, mineralogía, determinación de micro y macro organismos, mecánica entre otras. El método más utilizado, adecuado y sencillo para aspectos de físico-químicos, es en zig-zag (IGAC, 2010).

Los métodos de laboratorio para análisis de carbono del suelo (COs) son generalmente de tres maneras: 1. Por la diferencia entre el total de C Inorgánico. 2. Midiendo el total después de que se elimine el C Inorgánico. 3. Por oxidación con dicromato (Arzuaga et al., 2015; Yolima, Losada, & Ruiz Suárez, 2017).

De los métodos descritos se empleará el de oxidación con dicromato propuesto por Walkley y Black, este método sugiere un factor de conversión de 1.32 para calcular el contenido de C en el

suelo, introduciendo una fuente de calor externa y de ese modo producir una oxidación completa (Alemán & Guido, 2016; Sheifa J. McKean, 1993).

Los SIG en estudios de contenidos de carbono orgánico del suelo

Debido a que el suelo presenta diferentes funciones globales, se requiere de información exacta sobre su distribución espacial según sus propiedades que son denotadas como importantes para los ecosistemas, como lo es el caso del contenido de carbono orgánico en el suelo puesto que este es significativo en el cambio climático (Gutiérrez et al, 2020) Para la estimación distribuida de variables del suelo se utilizan métodos como la geo estadística (aplicación de técnicas como kriging y CoKriging) las cuales permiten realizar una interpolación de valores de carbono orgánico en el suelo sin información del sitio mediante un supuesto de autocorrelación espacial (Armas Et al. 2017), dichas técnicas de estadística geográfica no solo tienen la capacidad de producir una superficie de predicción sino que también proporcionan alguna medida de certeza o precisión de las predicciones, ofreciendo de esta manera errores de menor magnitud (ESRI, 2016); Además de esto, se pueden establecer relaciones con las características climáticas y el uso del suelo, y generar modelos predictivos (Álvarez et al.2018), puesto que, Kriging realiza una suposición estableciendo que la distancia entre los puntos de la muestra reflejara una correlación espacial que se utiliza para explicar la variación que se presenta en la superficie real y el CoKriging realiza un análisis de correlación entre distintas variables, debido a que, se convierte en una técnica multivariable de modelado de superficies que permite incorporar en el proceso de estimación información de una variable secundaria, este proceso de implementación de kriging abarca un análisis estadístico de datos, un modelado de vario gramas y la creación de la superficie (Caro, A. 2012; ESRI,2016).

Invertebrados edáficos y propiedades fisicoquímicas como indicador útil de la salud del suelo

Los invertebrados edáficos constituyen un indicador útil de la salud del suelo o del estado de perturbación del mismo, debido a que estos organismos son sensibles a una gama de propiedades del suelo y del ambiente/ecosistema y al manejo impuesto por el ser humano (García, Ramírez, & Sánchez, 2012). Además, juegan un papel importante en la regulación de la estructura y función de los suelos de ecosistemas agrícolas y forestales (Henaó, 2015; Ruiz & Mora, 2014). Entre los servicios que los ecosistemas proveen, los servicios de regulación tienen una gran importancia para el mantenimiento del equilibrio en el planeta, entre estos servicios se encuentra la propia regulación climática, la regulación de la calidad del aire, la regulación hídrica, el control de la erosión, la fertilidad del suelo, la regulación de las perturbaciones naturales, el control biológico o la polinización, esto sumado a los efectos del cambio climático sobre el ciclo hidrológico, podría afectar las interacciones entre las especies, los ciclos de nutrientes y el funcionamiento, estructura y distribución misma de los ecosistemas, trayendo como consecuencia la alteración en los flujos y calidad de los servicios ambientales que prestan los ecosistemas, siendo así los ecosistemas y su biodiversidad tienen una contribución muy importante para enfrentar el cambio climático, teniendo un doble papel; por un lado, los ecosistemas ricos en biodiversidad son piezas fundamentales que permiten frenar los efectos que este fenómeno puede llegar tener, así como también, bien gestionados, pueden ser capaces de resistir mejor a estos impactos, siendo más resiliente (EAN, 2012).

Macrofauna en el Bosque seco tropical

La macrofauna del suelo es uno de los grupos más grandes presentes en el bosque seco tropical por lo que su presencia dentro de estos ecosistemas es fundamental; la presencia de diferentes especies en el suelo permite caracterizarlo como fértil (Huamanyauri, L. 2012). De acuerdo a diferentes estudios realizados, estos organismos son vital importancia para determinar en qué condiciones se encuentra el ecosistema ya que gracias a la presencia de la macrofauna, las propiedades físicas y químicas del suelo se pueden encontrar en óptimas condiciones; dentro de este grupo se resalta la lombriz de tierra, las hormigas y las termitas, ya que evidencian una mayor proporción en comparación a demás nematodos presentes dentro del ecosistema (Cabrera, G. 2012).

Las hormigas, son consideradas como bioingenieros del suelo siendo uno de los herbívoros más importantes de este ecosistema, algunas de sus funciones en el suelo son: incrementar la materia orgánica, mejorar la textura y la estructura del suelo, reducir las poblaciones de semillas en el suelo, dispersar las semillas de arvenses, depredar a los artrópodos en el suelo y dispersar insectos y ácaros en las raíces (Gallego y Salguero, 2015; Matienzo, Y, n.d.).

En el caso de las lombrices de tierra se consideran ingenieras del ecosistema de bosque seco tropical ya que son fundamentales en la transformación de las propiedades físicas del suelo, es decir regulan la compactación, la porosidad, las condiciones hídricas y la macro agregación (Castro, Medina y Ospina, 2016).

Determinación de Coberturas con SIG

La aplicación de técnicas de teledetección en conjunción con SIG para la identificación, estudio y análisis de los cambios de estas coberturas de suelo ha supuesto un importante avance en cuanto al detalle y extracción de clases espectrales e informacionales en un determinada área de estudio, de gran utilidad para una mejor toma de decisiones en pro del desarrollo y bienestar de la zona y sus habitantes (Asociación de Geógrafos Españoles. & Cardozo, 2001).

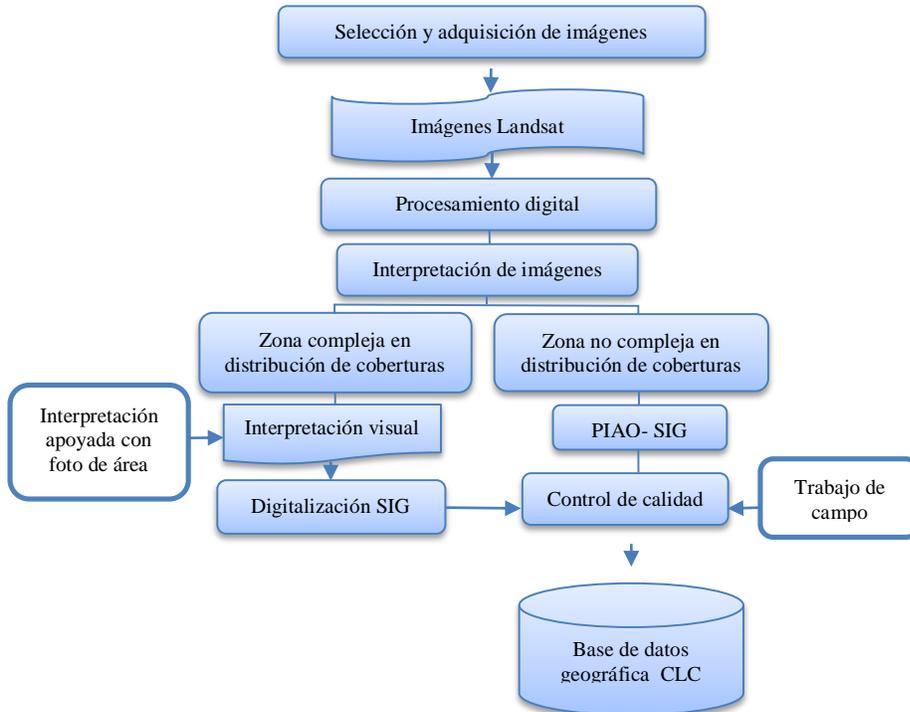
Una de las técnicas utilizadas en Colombia es la metodología Corine Land Cover, adoptada en el marco del programa de apoyo y la colaboración prestada por el Fondo Francés para el Medio Ambiente (FFEM), la Embajada de Francia en Colombia, el Instituto Geográfico Nacional de Francia (ING) y ONF Andina Colombia, con el fin de promover una metodología unificada y estandarizada para el contexto colombiano en relación a coberturas de la tierra (IDEAM, 2014).

La metodología describe o clasifica las coberturas; es decir, para la caracterización de las coberturas se debe tener en cuenta la clasificación dividida en: territorios artificializados (abarca áreas de ciudades y poblaciones), territorios agrícolas (comprendidos como aquellos dedicados a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas), bosque y áreas seminaturales (coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo), áreas húmedas (comprende terrenos que pueden ser temporalmente inundados y estar cubiertos por vegetación acuática) y superficies de agua (cuerpos y cauces de aguas permanentes) (IDEAM, 2010).

Dicha metodología se basa en la evaluación de coberturas de la tierra mediante el uso de imágenes satelitales tipo Landsat, estas imágenes son acotadas a momentos temporales y bajo diferentes resoluciones de píxeles (Roberto,2020); además de esto, las imágenes landsat se encuentran conformadas por diez bandas de trabajo (color verde, rojo y azul) y una banda pancromática (infrarrojo), estas bandas mediante un proceso de combinación de las mismas permite observar las coberturas terrestres de diferentes maneras haciendo que se pueda interpretar por ejemplo: una

vegetación saludable, realizar un análisis de la vegetación, conocer un casco urbano, entre otros (Franco, 2017; Roberto, 2017) .

Ilustración 1. Esquema metodológico



Nota: esquema adaptado para Colombia propuesto por el IDEAM

Fuente: IDEAM, 2014

5.2. Marco Legal

Ley 357 de 1997	por medio de la cual se aprueba la "Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas"
Resolución N° 157 de 2004 MAVDT	Por la cual se reglamenta el uso sostenible, conservación y manejo de los humedales, y se desarrollan aspectos referidos a los mismos en aplicación de la convención RAMSAR.
El decreto 298 de 2016	Establece la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático – SISCLIMA – es decir, el conjunto de entidades estatales, privadas y sin ánimo lucro, de políticas, normas, procesos, recursos, planes, estrategias, instrumentos, mecanismos, así como la información atinente al cambio climático, que se aplica de manera organizada para gestionar la mitigación de gases efecto invernadero y la adaptación al cambio climático en el país.
Ley 1931 de 2018	Esta ley tiene como objetivo impulsar el desarrollo de acciones de mitigación de gases efecto invernadero y de adaptación al cambio climático buscando reducir la vulnerabilidad de la población y de los ecosistemas del país.

Ley 164 de 1994	Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992.
Acuerdo de París	es un Acuerdo universal que compromete a todos los países de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, hace un llamado a mantener el aumento de la temperatura media global por debajo de 2 °C o incluso 1,5 °C.
Protocolo de Kioto	Fue creado para reducir las emisiones de gases de efecto (GEI) invernadero que causan el calentamiento global. Es un instrumento para poner en práctica lo acordado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
Acuerdo N° 39 del 17 de octubre del 2006	En el 2006, el humedal el Yulo fue declarado por la CAR (Corporación Autónoma Regional) como reserva hídrica por su importancia ecosistémica para la región.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

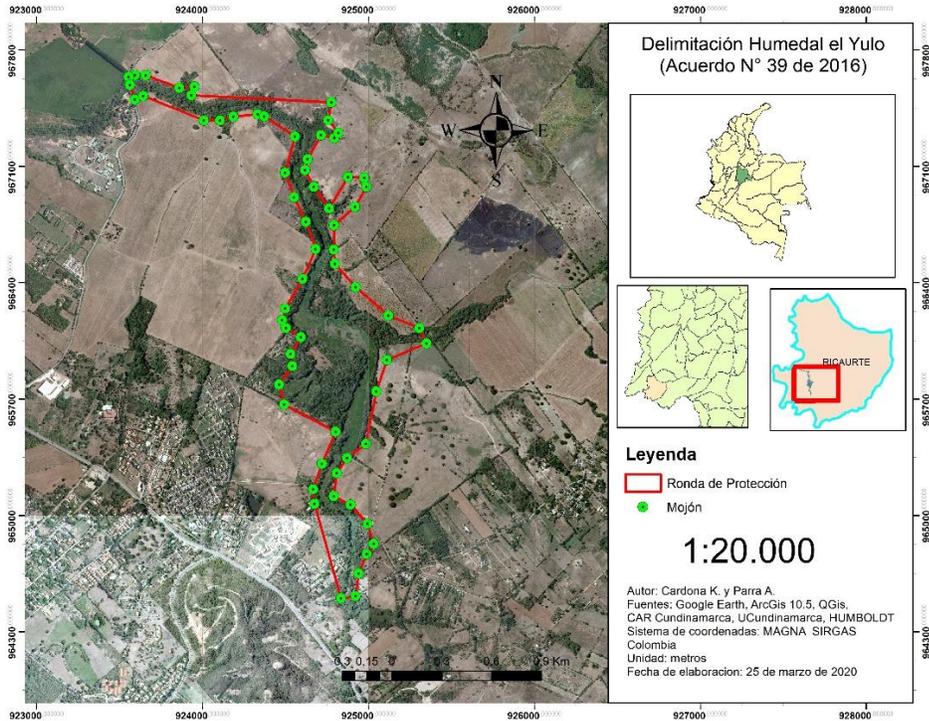
6.1. Área de estudio

El humedal el Yulo es uno de los pocos humedales de Bosque Seco Tropical, ubicado sobre la cuenca del río Bogotá, se encuentra localizado en el municipio de Ricaurte, Departamento de Cundinamarca, a una altura de 284 m.s.n.m, con una temperatura promedio de 27 °C, y un área de 101,53 ha, y una ronda hídrica de 41,57 ha, y 39 predios relacionados con el ecosistema, el cual pertenece a la provincia del Alto Magdalena. En octubre de 2006, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, expidió el acuerdo 39 de 2006, por el cual se declara la Reserva Hídrica Humedal El Yulo y se establece su franja de protección, como resultado del contrato de consultoría No 419 de 2005 (CAR, 2012).

Ilustración 2. Mapa humedal el Yulo

puntos establecidos en este acuerdo, generando así el mapa temático “Delimitación humedal El Yulo” (Ilustración 3).

Ilustración 3. Mapa Delimitación de la reserva Humedal el Yulo



Fuente: autor

Seguido se obtuvieron imágenes satelitales Landsat 8 que presentaron características óptimas para la interpretación (Ilustración 4,6) del servidor del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), así mismo se consiguieron imágenes del programa informativo Google Earth Pro siendo geo referenciadas con el sistema oficial del país (Magna Sirgas) con ayuda de los programas QGIS 3 y ArcGIS (Versión 10.5), tomando como puntos de referencia 4 extremos del humedal (figura 5).

Ilustración 4. Características imagen Landsat 8

Ilustración 5. Satelital del Humedal el Yulo geo referenciado

Atributo del conjunto de datos	Valor de atributo
Identificador de producto Landsat	LC08_L1TP_008057_20190827_20190903_01_T1
Identificador de escena Landsat	LC8080572019239LGN00
Fecha de Adquisición	27/08/2019
Categoría de colección	T1
Número de colección	1
Ruta WRS	008
Fila WRS	057
Ruta de destino WRS	008
Fila de destino WRS	057
Nadir / Off Nadir	NADIR
Ángulo de inclinación	-0.001
Fecha de generación L-1	2019/09/03
Hora de inicio	2019: 239: 15: 12: 40,1091450
Para el tiempo	2019: 239: 15: 13: 11,8791440
Identificador de estación	LGN
Indicador día / noche	DÍA

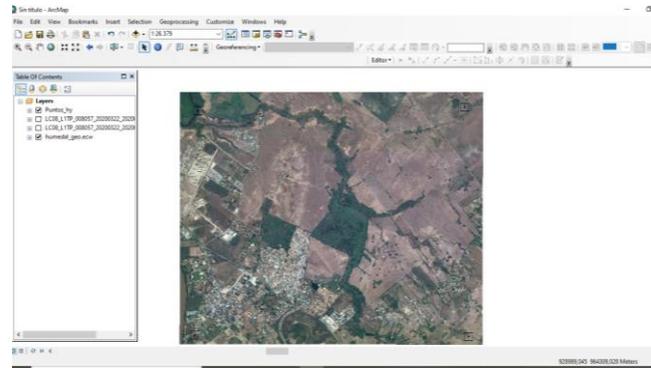
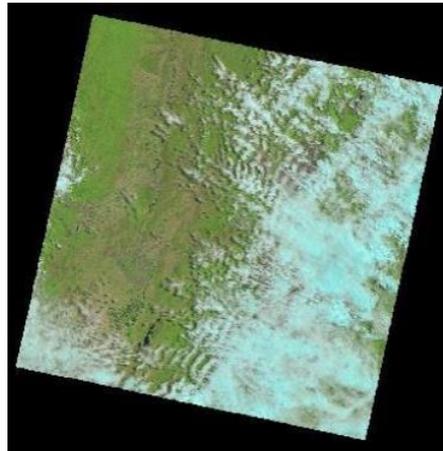


Ilustración 6. Satelital Landsat



Después de obtener las imágenes Landsat 8 se realizó el procesamiento y la preparación digital de las diferentes bandas en donde como primer paso se realizó el cálculo de diferentes índices con ayuda de la herramienta algebra de mapas *ráster calculador* del Programa ArcGis v.10.5, estos índices fueron: índice de vegetación normalizada NDVI (figura 15) e índice normalizado de la vegetación de la diferencia de humedad NDMI (figura 14), además de una interpretación de diferentes combinaciones RGB (figura 16,17, 18,19).

Seguido se realizó la respectiva clasificación supervisada y genero los diferentes polígonos (Ilustración 7) según la LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA

Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia, generando así el mapa temático de coberturas (IDEAM, 2014).

*Para este y cada uno de los shape generados se realizó la respectiva topología hallando y corrigiendo así elementos topológicos dentro de estos.

Ilustración 7. Construcción del polígono de herbazal denso inundable



6.3. Invertebrados edáficos.

- **Fase de campo.** Para este apartado se tomaron como áreas de muestreo dos zonas (con y sin cobertura), para la captura se tuvo en cuenta el Protocolo de Muestreo Para la Macrofauna del Suelo (CIAT/TSBF-LAC, 2011), En cada área de muestreo se ubicaron 5 transectos de 160m con origen al azar en donde se posicionaron 4 puntos de muestreo cada 40 metros a lo largo del transecto (anexo 2), para cada punto se delimito un área de 1 m², en donde se realizó un agujero de 30 cm de ancho X 30 cm de largo x 30 cm de profundidad en cada extremo, extrayendo el suelo de cada sitio, y colocándolo en bandejas plásticas, hallando así los macroinvertebrados edáficos presentes en las muestras; para cada individuo se hace un reconocimiento como mínimo nombre común o descripción y se toma fotografías antes de liberarlo de nuevo (anexo 3).

- **Análisis.** Ya en oficina se realizó un reconocimiento taxonómico de los individuos por nivel de órdenes y familias por comparación de características morfológicas de importancia, mediante el uso de claves y descripciones taxonómicas (Anexo 4).

Estos datos fueron tabulados en hojas de cálculo Excel, junto con el cálculo y gráfico de los índices de riqueza y diversidad en el programa Past v. 4.03 (anexo 4), así como la generación de un mapa temático de riqueza de especies por área en el programa ArcGis v. 10.5. (Ilustración 22).

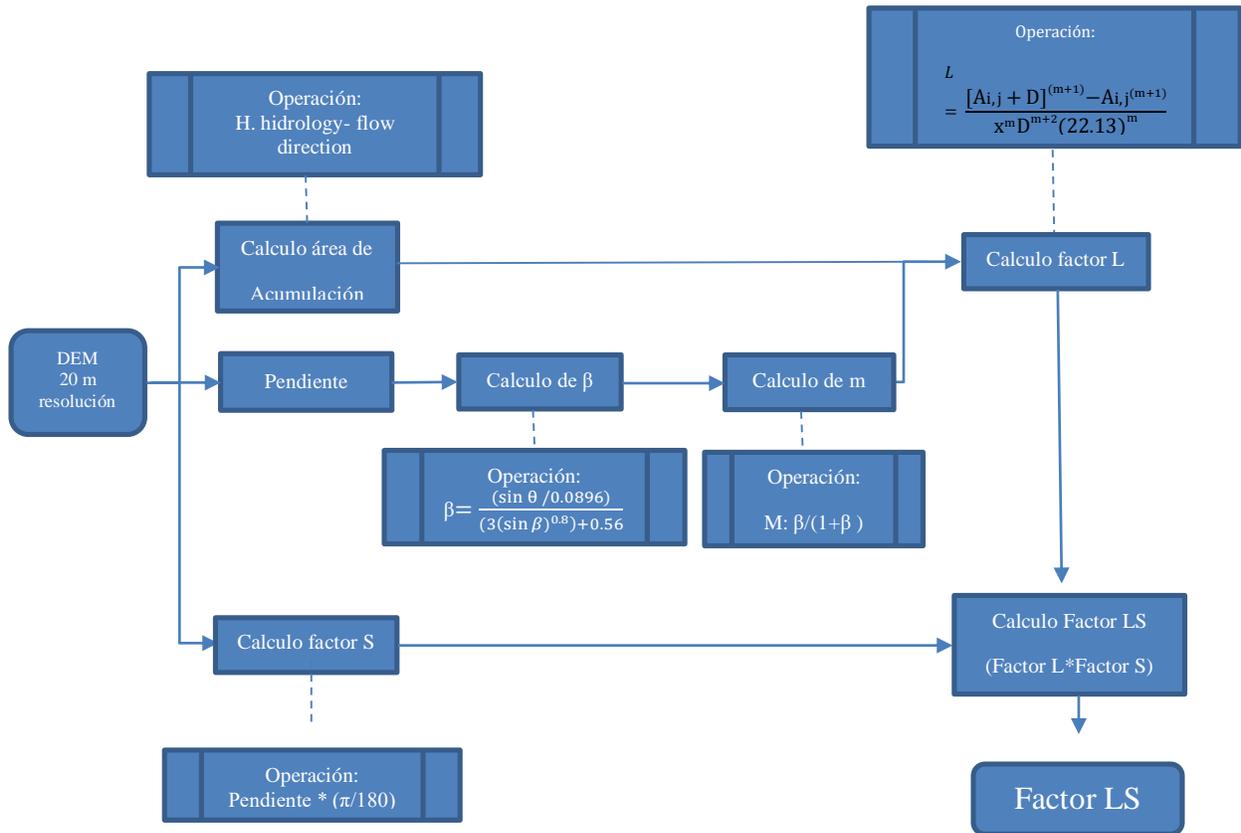
6.4. Mapa temático Estimación de contenido de Carbono Orgánico del suelo.

6.4.1. Recopilación y análisis de información e insumos. En este ítem se adquirieron diferentes imágenes satelitales, ortofotomosaicos, capas de variables ambientales y temáticas relacionadas con el suelo y las coberturas del humedal el Yulo, así como documentos técnicos relacionados con la cuantificación de carbono orgánico del suelo como de estudios del humedal que pudieran establecer la línea base de monitoreo de carbono orgánico en la reserva (Humboldt, 2018).

6.4.1.1. Variables topográficas.

- **Pendiente y Orientación.** Los respectivos ráster de cada variable se obtuvieron a partir del DEM suministrado por la corporación autónoma regional de Cundinamarca (CAR), con ayuda del programa ArcGis v.10.5, el ráster de la pendiente se generó con la herramienta de análisis espacial Slope y la orientación se calculó con la herramienta Aspect (anexo 4).
- **Factor de relieve de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos (USLE) o Factor LS.** El ráster de este factor se generó en el programa ArcGis v. 10.5 siguiendo el esquema propuesto por Ayala, J. en 2019 (anexo 4).

Ilustración 8. Esquema Procedimental para el cálculo del factor LS



Nota: Esquema adaptado para el humedal el YULO

Fuente: Ayala, J. (2019)

6.4.1.2. Aspectos físico químicos.

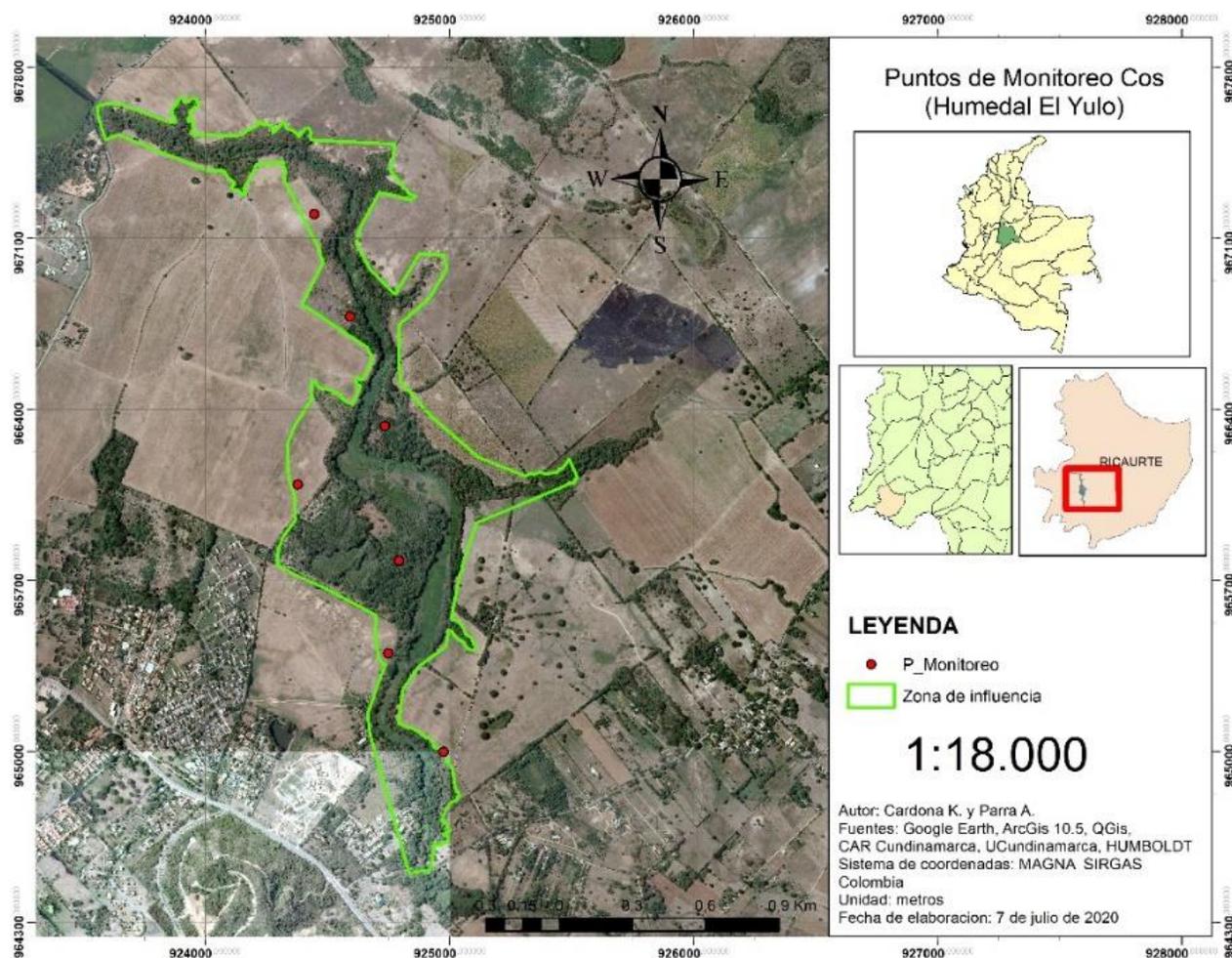
- *Mapa temático de pH.* Para el estudio fueron tomadas como áreas de muestreo las diferentes coberturas del humedal el Yulo, en total se tomaron 70 puntos al azar siendo debidamente geo-referenciados. Para cada punto se excavó una cuadrícula de 25 x 25 x 20 cm, y se Registró el pH siguiendo el método estipulado en la guía práctica caracterización del suelo y del terreno determinación directa en campo de pH (Rasta, 2011). Los datos obtenidos en campo fueron digitalizados tablas de Microsoft Office Excel 97-2003 (anexo

5) y llevados a formato shape para su respectivo mapeo, el cual se realizó con el programa ArcGis v. 10.5 (anexo 7), aplicando el método geoestadístico kriging ordinario, interpolando así las mediciones del pH en campo; como resultado se obtuvo un mapa de distribución de la variable pH en formato raster.

6.4.1. Selección y transformación de base de datos.

Debido a que no se pudo efectuar actividades de campo, se optó por revisar bases de datos o análisis de suelo existentes para la reserva Humedal El Yulo, En total se identificaron 7 datos (puntos de monitoreo) de estudios fisicoquímicos del suelo en la base de datos de la universidad Cundinamarca del proyecto Transferencia de conocimientos para la recuperación de suelos degradados bajo ecosistemas de bosque seco tropical (Colombia) y Mediterráneo (España) junto con los de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), solo se contó con estos datos ya que contenían la información necesaria para el cálculo del stock de Cos (%Co, Perfil, y densidad), de igual manera se acogió una nueva zona de influencia debido a que algunos de los puntos de monitoreo se encontraban por fuera de la ronda de la reserva pero que presentaban similitud con la cobertura de pastos limpios y tipo de suelo además de ser muy cercanos. Estos análisis de suelo fueron separados en tablas de Microsoft Office Excel 97-2003, que luego conformaría la base de datos con información numérica (coordenadas) asociadas como X (Este), Y (Norte). Luego importada en formato Shapefile y desplegada como puntos con ayuda del programa ArcGis 10.5 (Ilustración 9).

Ilustración 9. Puntos de monitoreo de carbono orgánico del suelo



Fuente: autor

6.4.2. Predicción del Cos en el Humedal el Yulo.

De la cartografía digital en formato shape (convertida en formato ráster con ayuda de la herramienta *conversión tools* del programa ArcGis v. 10.5) y ráster generada u obtenida (Índices multispectrales, variables topográficas, estimación de pH, geología, taxonomía del suelo y Coberturas), se extrajo los valores de información al shape con los puntos de monitoreo con la

herramienta *Extrac multi values to points* del programa ArcGis v. 10.5 de la tabla de atributos del shape de monitoreo con los valores de las diferentes variables, esta información se exporto en formato de salida *.csv*, archivo que se utilizó para la calibración del algoritmo de autoaprendizaje Random Forest (RF) con el software Salford Predictive Modeler v. 8.3, utilizando como “target” el valor de Cos conocido (variable dependiente - Y), y como “predictor” las variables a analizar por su capacidad indicadora para la predicción de Cos (variables independientes - X), configurando un total de 200 árboles de decisión (ilustración 10) , generando un archivo con extensión *.grv*.

Seguido se generó un *score* introduciendo el archivo *.grv* con el algoritmo calibrado y un archivo alfanumérico en formato *.csv* que contiene todas y cada una de las variables predictivas descubiertas a través del modelo excepto la variable Cos ya que ésta es la variable que se pretendía predecir (Ilustración 11), al realizar el proceso de predicción (*score*) se obtuvo un archivo que contenía un total de 3309 puntos con el dato predicho con la información luego llevado al ArcGis para su respectiva visualización (Ilustración 12) y a través de su posición asociada generar su mapa de predicción de Carbono orgánico del suelo.

Ilustración 10. Calibración del algoritmo random forest

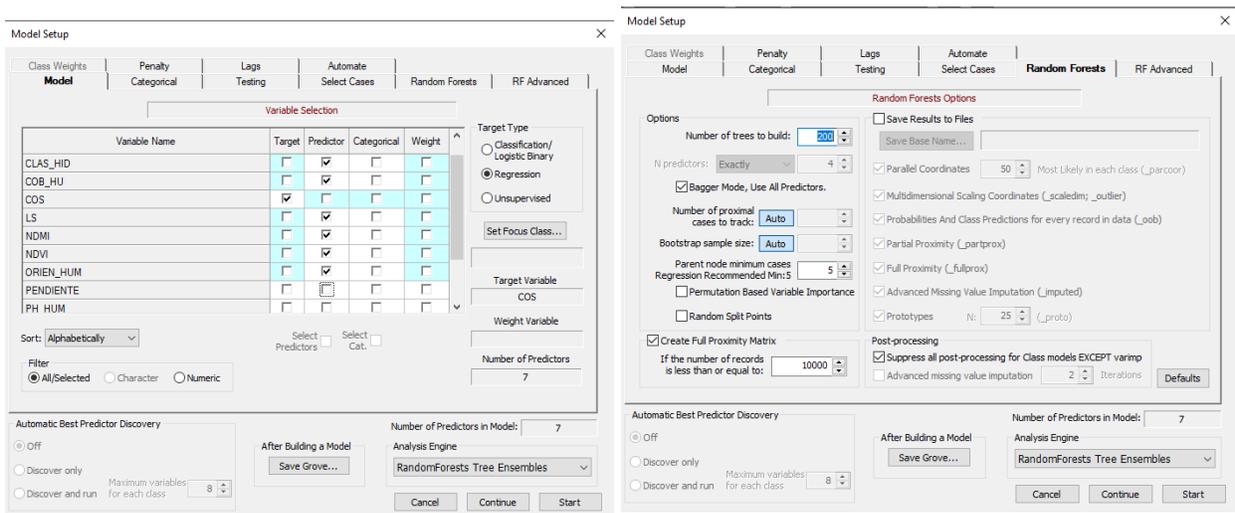


Ilustración 11. Configuración de los parámetros de predicción Cos

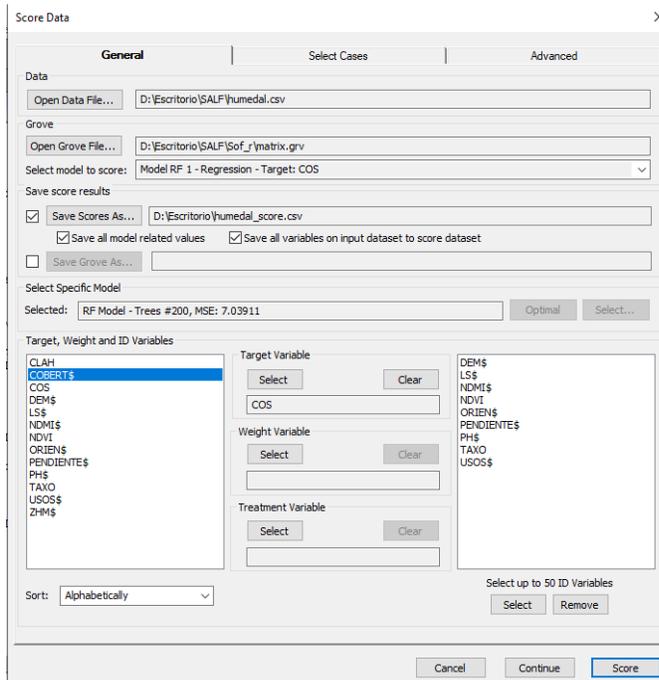
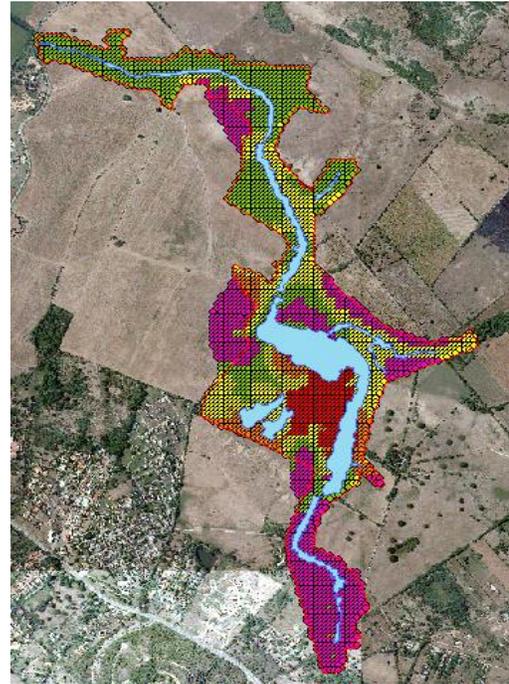


Ilustración 12. Puntos con el nuevo dato desplegado



6.5. Álgebra de mapas

En un primer momento se realizó un análisis de la representatividad que presentaba cada una de las capas existentes obteniendo, así como variables de aplicación las capas temáticas de coberturas, NDVI, fauna edáfica, clase agrologica, pendiente y Carbono orgánico del suelo del humedal el Yulo ya que estas presentaban mayor influencia y variabilidad para el criterio de evaluación descartando así capas usuales como el pH, clima y uso del suelo.

La aplicación del modelo multicriterio se realizó bajo análisis jerárquico (es de tener en cuenta que esta calificación es subjetiva), para lo cual se determinó el peso relativo de cada variable de acuerdo a su importancia para darle una mayor coherencia al análisis (la suma del peso relativo de las diferentes variables debe sumar al final un 100%).

Así mismo se realizó una transformación o reclasificación para los diferentes valores o rangos dentro de las diferentes capas de entrada a un sistema de relación común (escala numérica) (tabla 1) para su respectiva superposición utilizando la herramienta Weighted Overlay del programa ArcGis v. 10.5; como resultado se obtuvo un mapa que representa las áreas con mayor y menor influencia en cuanto a su estado de conservación (Ilustración 23).

Tabla 1. Características de variables del suelo

VARIABLE	CARACTERÍSTICAS
COS	<ul style="list-style-type: none"> • Está vinculado con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo • Aportar elementos como el Nitrógeno. • Modifica la acidez y la alcalinidad. • Aumenta la solubilidad de varios nutrientes. • Aumenta la capacidad de retención de agua.
Riqueza edáfica	<ul style="list-style-type: none"> • Fragmenta restos vegetales • mejoran la descomposición de la materia orgánica • la disponibilidad de nutrientes en la rizosfera • modifica la estructura del suelo • afecta la tasa de infiltración y aireación • promueven el crecimiento de plantas
NDVI	<ul style="list-style-type: none"> • Estima la calidad e intensidad de la vegetación. • Diferencia la vegetación de otros tipos de cobertura.
Coberturas	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora de la fertilidad del suelo. • Reduce el riesgo de erosión. • Incrementa porosidad, infiltración, estabilidad de los agregados del suelo. • Afecta el contenido de materia orgánica en el perfil del suelo. • Afecta la fertilidad del suelo
Pendiente	<ul style="list-style-type: none"> • Afecta la fertilidad del suelo

- Influencia la desestabilización del suelo

Fuente: autor

Teniendo en cuenta las variables mencionadas (carbono orgánico del suelo, pendiente, NDVI, riqueza edáfica y coberturas) se tomó como criterio de valoración la relación con las funciones y condiciones del suelo para la ponderación general de las capas y sus rangos, se puede ver resumida en la tabla 2.

Tabla 2. Cuadro de ponderaciones y relación de rangos

CUADRO DE PONDERACIÓN			
Ponderación %	Variable	Rango	valor %
30	Cos	Alto	70
		medio	20
		Bajo	10
15	NDVI	SV	5
		VL	10
		VM	15
		VA	70
15	Riqueza edáfica	Alta	70
		Baja	30
30	Coberturas	BFS	60
		PL	10
		AR	30
		HDI	0
		ZU	0
10	Pendiente	0-1,16	30
		1,16- 2,98	25
		2,98- 5,16	20
		5,16- 7,79	15
		> 7,79	10

Fuente: autor

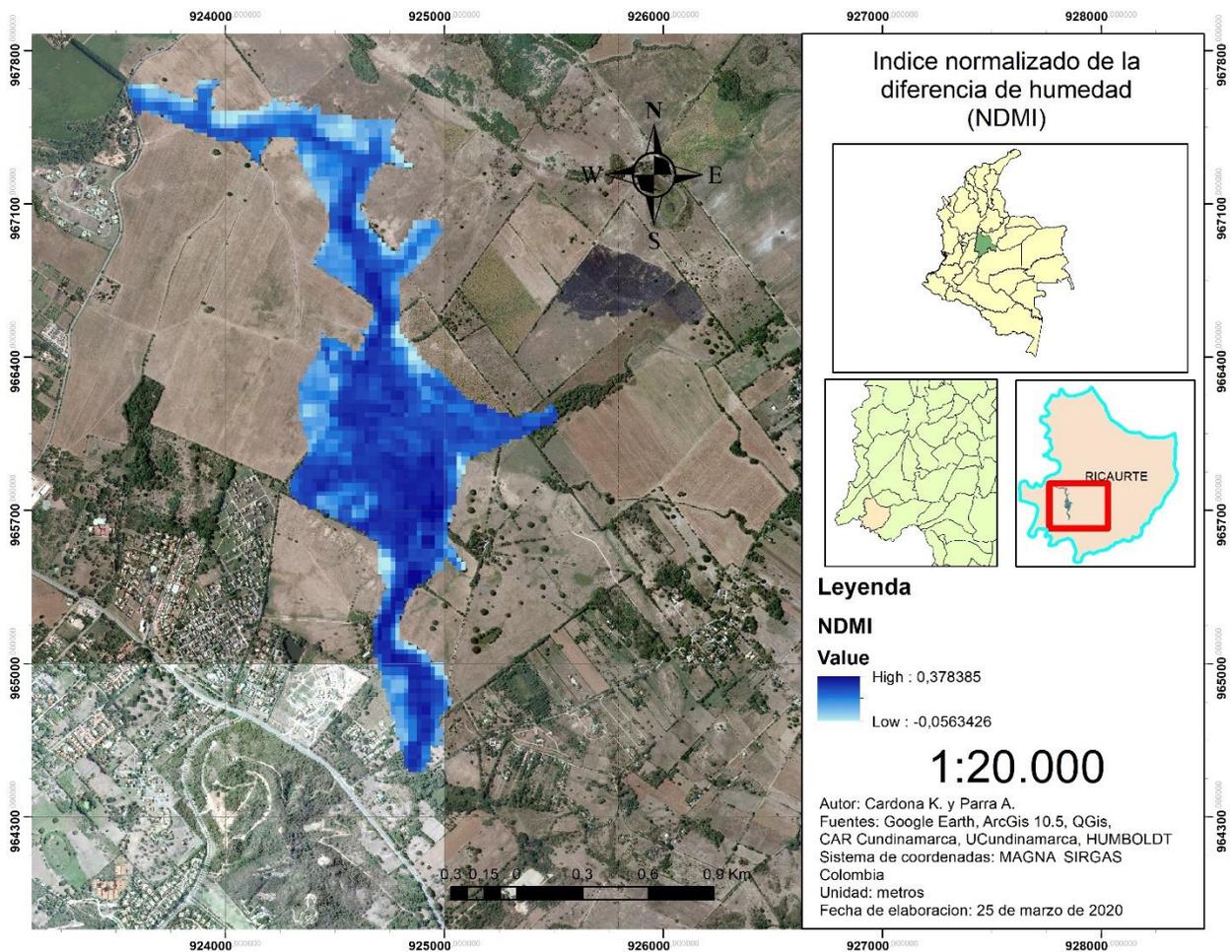
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Caracterización de Coberturas

7.1.1. Calculo índices

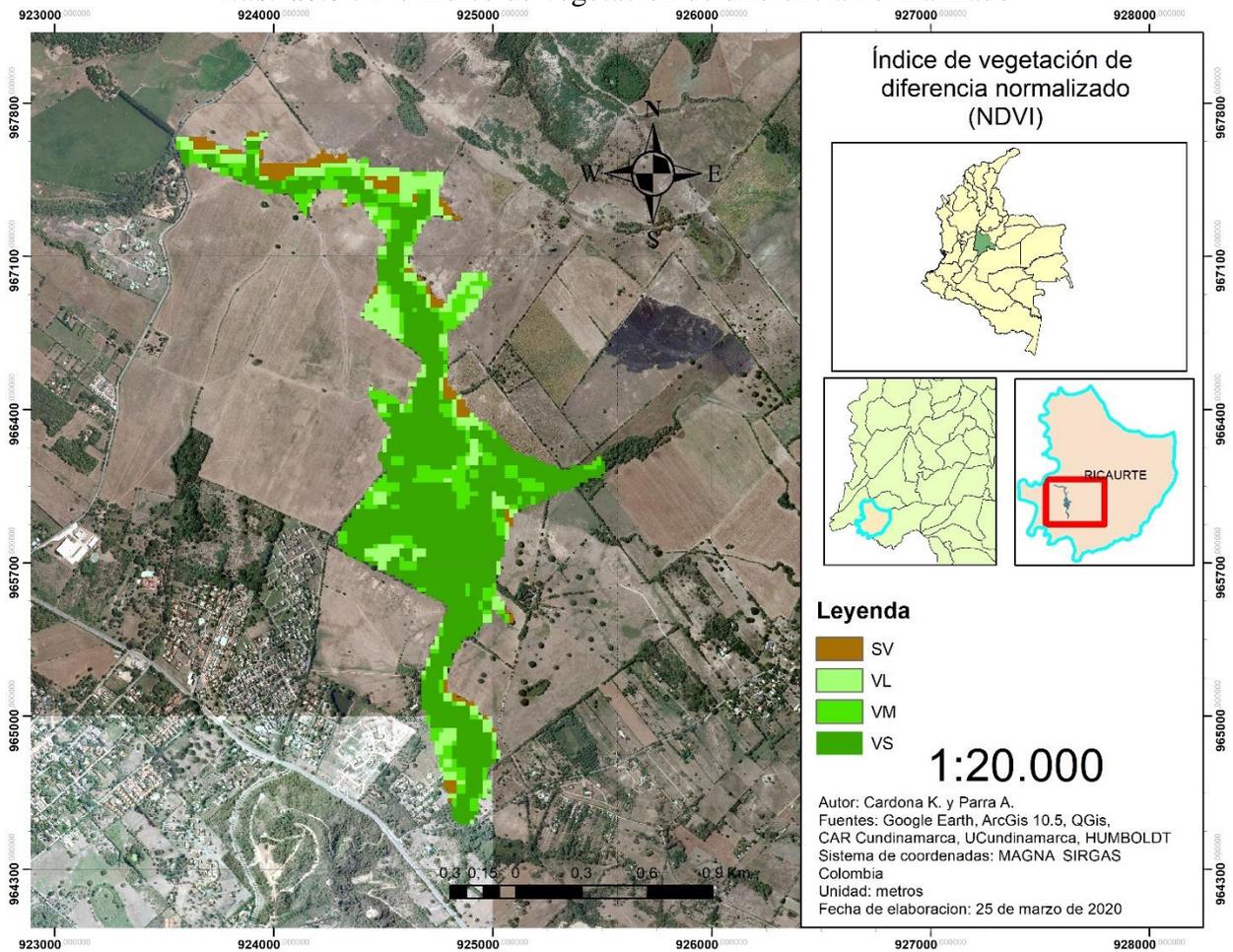
Para los siguientes cálculos (Figura 13 y 14) se emplearon diferentes rangos de interpretación de acuerdo a los expuestos por Caicedo y Peña (2019); Wang y Qu (2007) y Vicente, J. (2014).

Ilustración 13. Calculo índice normalizado de la diferencia de humedad



Fuente: autor

Ilustración 14. Índice de vegetación de diferencia normalizado



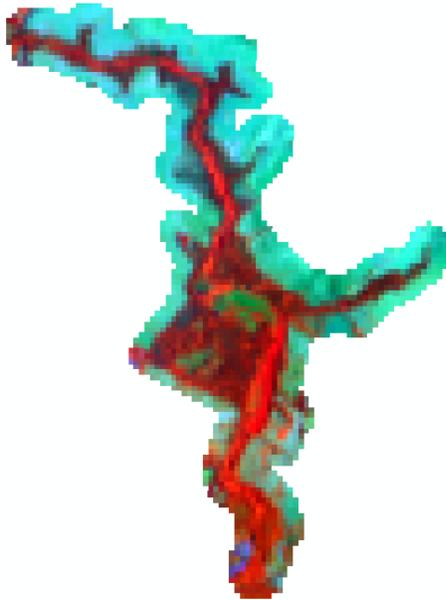
*Sin vegetación (SV); Vegetación ligera (VL); Vegetación mixta (VM); vegetación sana (VS)

Con los anteriores índices se identificaron los tipos de cobertura y el estado de estas en la reserva, dentro de la interpretación se identificaron las siguientes coberturas: Sin vegetación (NA), con Vegetación ligera (VL) o Arbustal, Vegetación mixta (VM) y vegetación sana (VA) o media, la cual en su mayor área presenta un estrés Hídrico moderado.

7.1.2. Mapeo de coberturas.

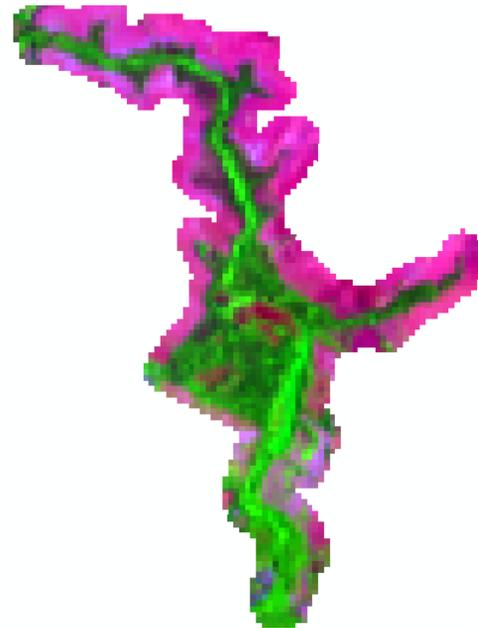
Dentro de la interpretación de las diferentes combinaciones RGB se observó que debido a la pequeña extensión que presenta el humedal la resolución de los mosaicos no era la más óptima dificultando así el proceso de clasificación, Así como la interpretación de las cortinas de agua ya que los colores que arrojaban las diferentes combinaciones representaban vegetación esto debido a que este ecosistema presenta cuerpo de aguas cubierto de vegetación (AITEC, 2017).

Ilustración 15. Combinación RGB 562



Nota: Combinación útil para distinguir vegetación saludable

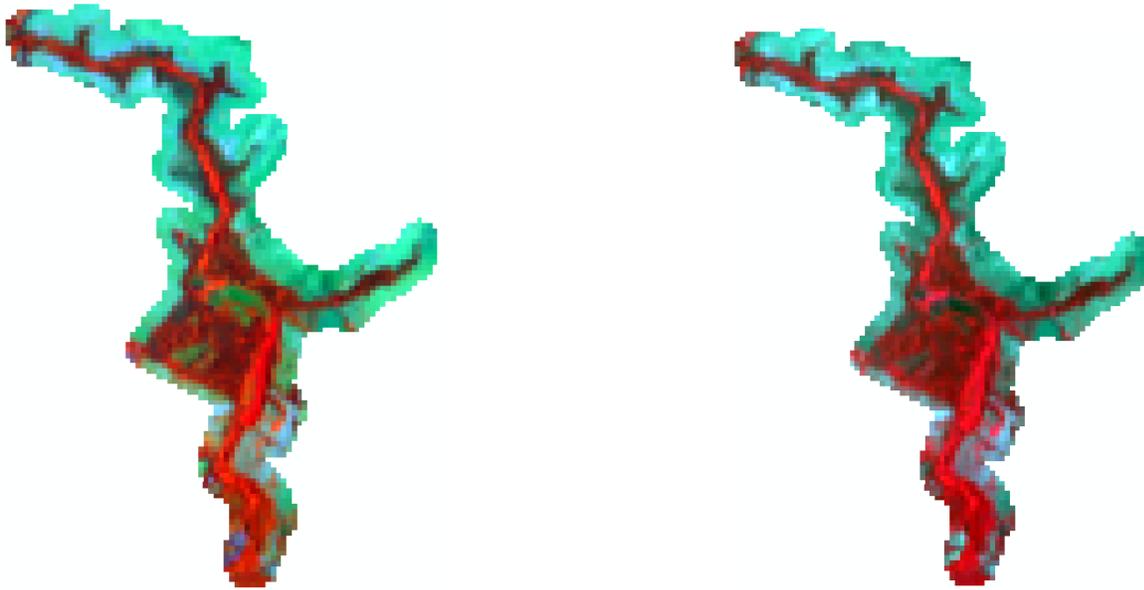
Ilustración 16. Combinación RGB 654



Nota: Combinación útil para análisis de vegetación

Ilustración 17. Combinación RGB 564

Ilustración 18. Combinación RGB 523



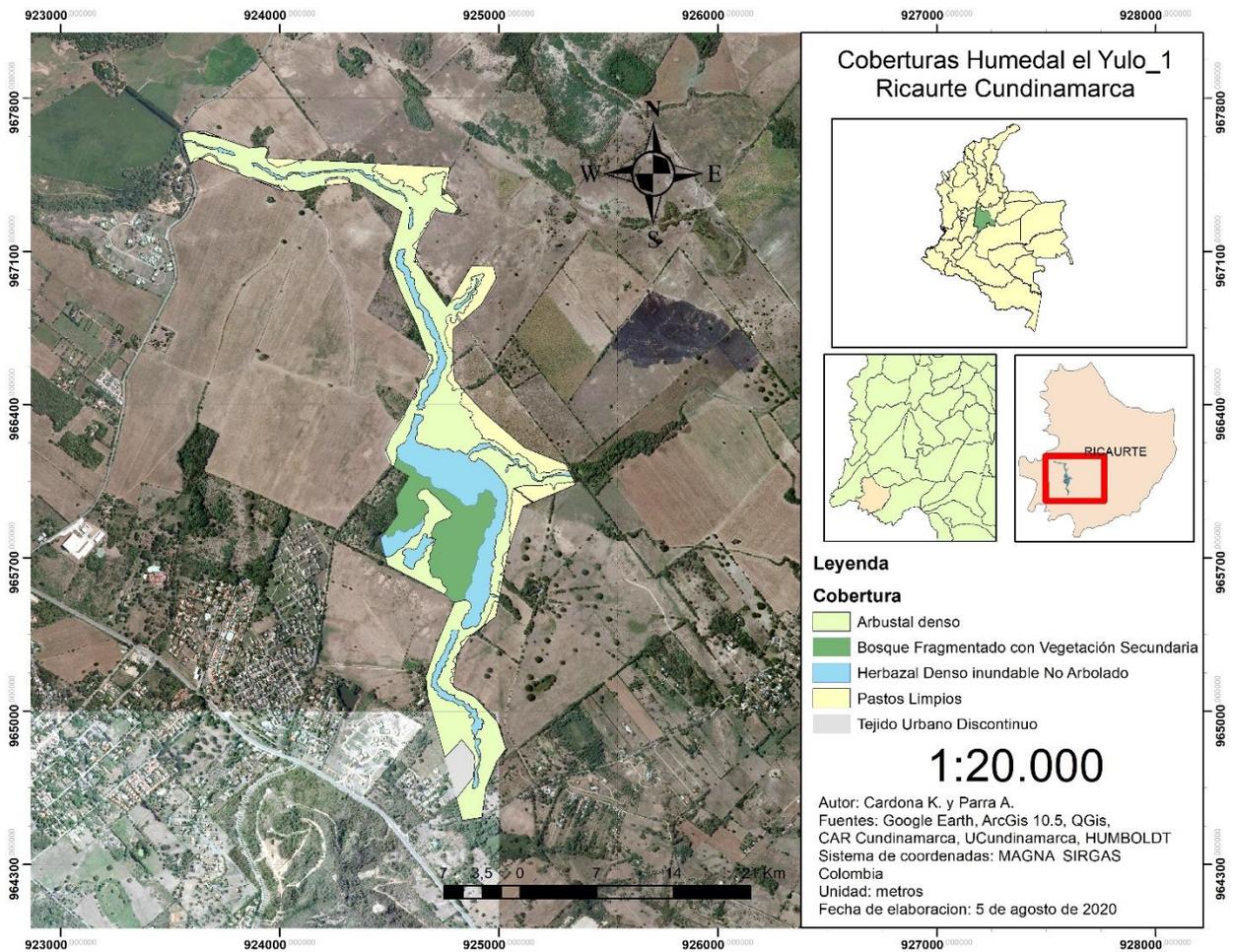
Nota: Combinación útil para diferenciar tierra /agua y para destacar áreas de bosque.

Debido a que la interpretación con las imágenes landsat no fue el más óptimo se optó por realizar la clasificación de las coberturas bajo la interpretación del ortofotomosaicos del humedal proporcionado por la CAR Cundinamarca, para ello fue importante la correlación de la información obtenida en campo, la suministrada por la Corporación autónoma regional de Cundinamarca CAR y las imagen descargada de Google Earth Pro permitiendo así confirmar lo observado puesto que este mosaico aunque muestra una buena resolución es del año 2010, por lo que existían algunas variaciones en las coberturas.

En total se generaron dos mapas temáticos con ayuda del programa ArcGis 10.5 El primero denominado Coberturas Humedal el Yulo_1 (ilustración 19), en donde se identificaron las siguientes coberturas: Arbustal Denso, Bosque Fragmentado con Vegetación secundaria, Herbazal Denso Inundable, Pastos Limpios y Tejido Urbano Discontinuo. El primer mapa se realizó de

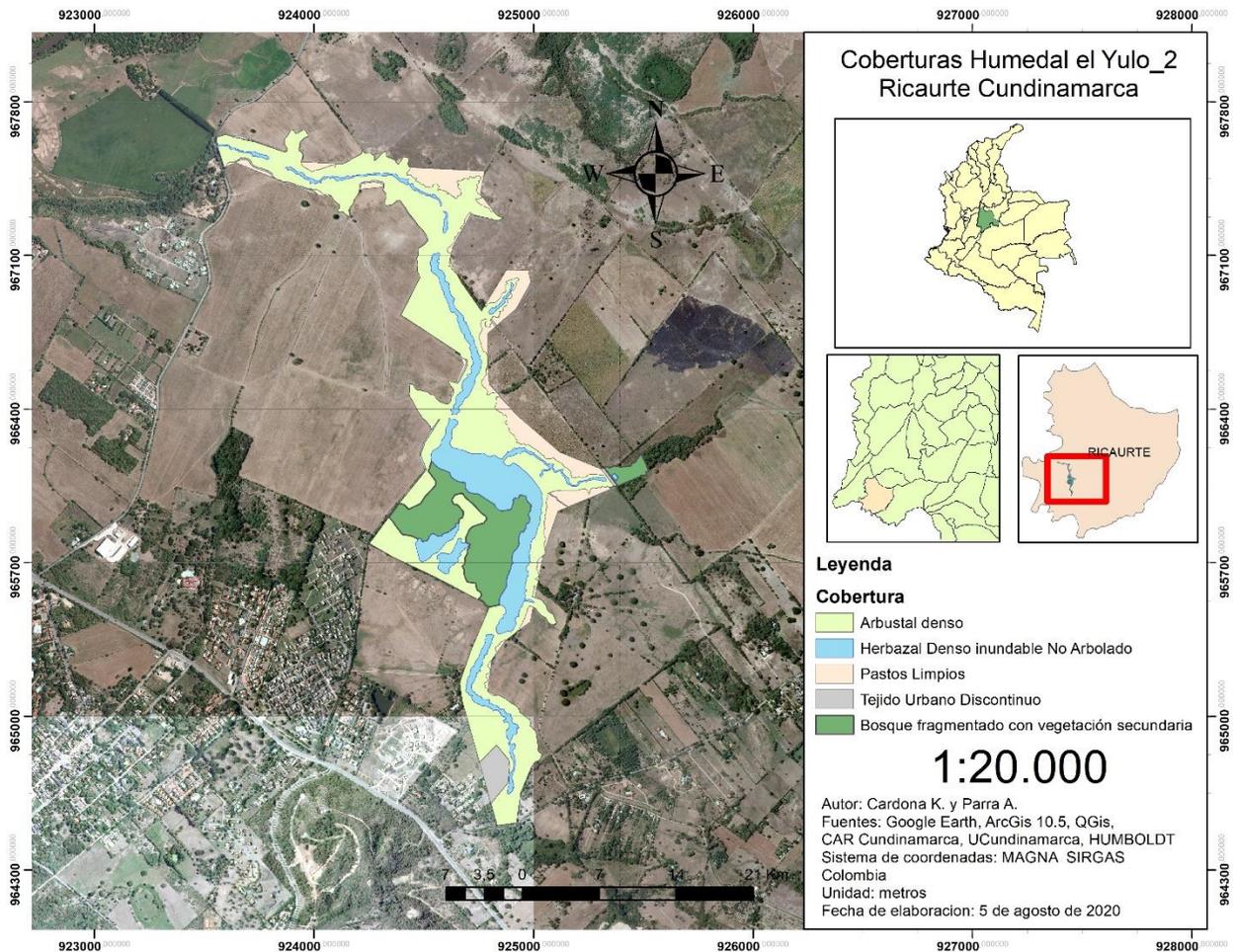
acuerdo a la delimitación declarada por la Corporación Autónoma regional (CAR) y el segundo mapa temático denominado Coberturas Humedal el Yulo_2 (ilustración 20), se elaboró acogiendo nuevos polígonos de algunas zonas de interés que se encuentran fuera de la delimitación pero que en trabajo de campo se identificaron como áreas de importancia para conservar, los nuevos polígonos se acogen a zonas que hacen parte de la cobertura de tipo Bosque Fragmentado con Vegetación secundaria y Arbustal denso.

Ilustración 19. Mapa de Coberturas HY_1



Fuente: autor

Ilustración 20. Mapa de Coberturas HY_2



Fuente: autor

En la tabla 3 se muestra la distribución de las diferentes coberturas dentro del área de influencia del humedal el Yulo según delimitación de la Corporación autónoma regional CAR en el acuerdo N° 39 del 17 de octubre de 2006, se observa que la cobertura con mayor porcentaje corresponde a Arbustal denso con un área 65,84 hectáreas de que representa el 63,5% del seguido del herbazal denso inundable no arbolado con un área de 21,28 hectáreas que representan el 20,5% , y pastos limpios con un área de 13,45 hectáreas. Estas 3 coberturas representan el 97% del terreno del humedal.

Tabla 3. Tipo de cobertura y su área representativa

Cobertura	área		%
	m2	hectárea	
Arbustal denso	528607,798	52,86	51
Herbazal denso inundable no arbolado	212755,542	21,28	20,5
Pastos limpios	134531,608	13,45	13
Tejido urbano discontinuo	29599,054	2,96	3
Bosque Fragmentado con vegetación secundaria	129802,859	12,98	12,5
		103,53	100

Fuente: autor

Cabe resaltar que en el segundo mapa donde se acogen nuevas áreas la cobertura de bosque fragmentado con vegetación secundaria se extiende a 16,9 hectáreas aumentando 3,9 hectáreas y Arbustal denso a 68,40 hectáreas.

Bosque fragmentado con vegetación secundaria. Cobertura compuesta por una estratificación mucho más evidente que en el tipo de cobertura de Arbustal Denso, con un estrato Arbóreo más desarrollado y con árboles de mayor porte, un estrato arbustivo igualmente marcado, y estratos herbáceo y rasante así como regeneración natural evidentes (CAR,2017).

Herbazal denso inundable no arbolado. Cobertura compuesta únicamente por un estrato herbáceo ya sea de vegetación acuática o anfibia pero en su totalidad resistente a inundación, presenta una riqueza de especies baja con un total de 27 de 135, así como una diversidad baja con un índice de Shannon-Wiever de 2.422, que siendo menor a 3 corresponde a una baja diversidad (CAR,2017)

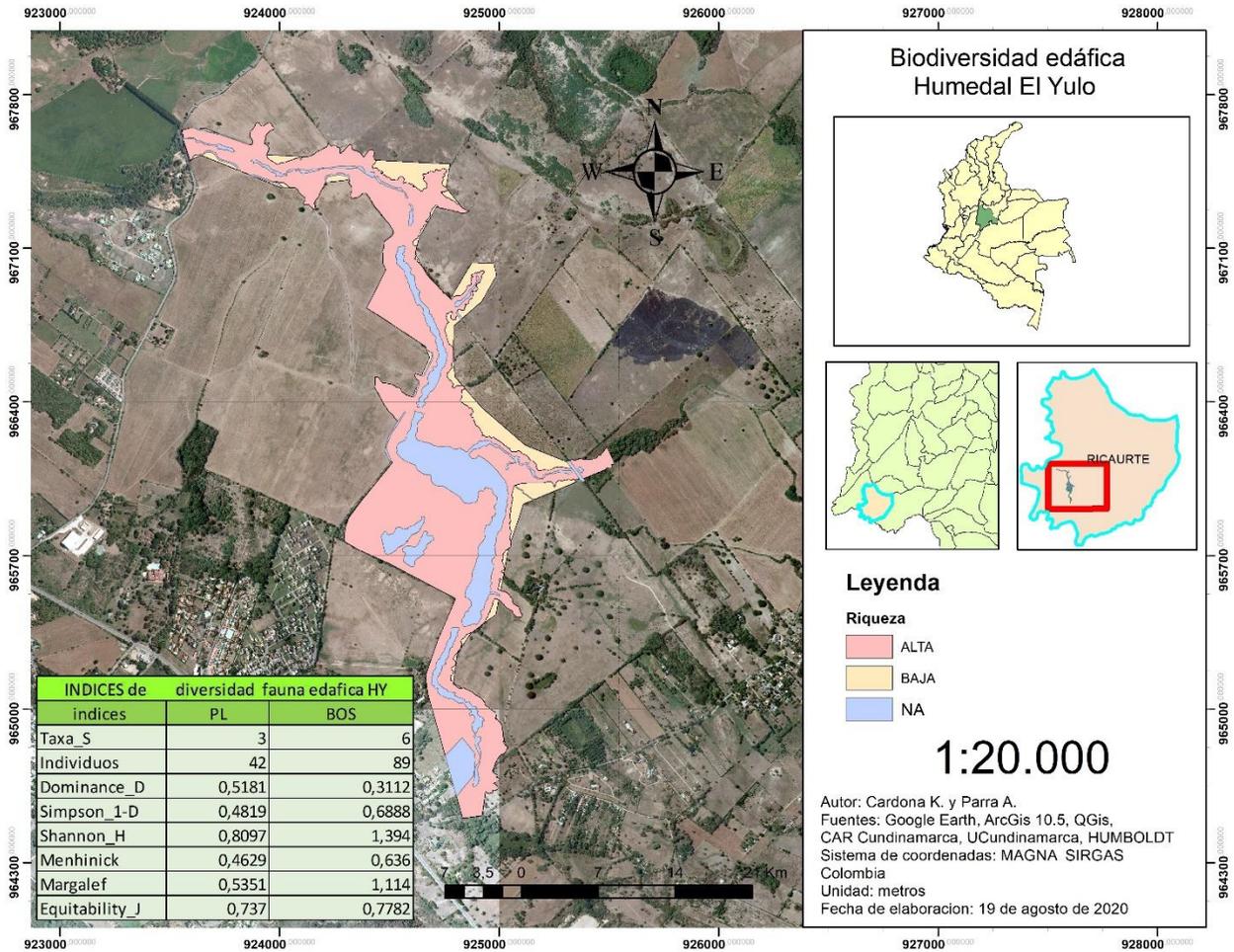
Pastos limpios. Cobertura compuesta principalmente por pastos y suelos descubiertos debido al paso de ganado, con presencia de algunos parches aislados con algunas especies herbáceas colonizadoras, principalmente exóticas, invasoras y potencialmente invasoras (CAR, 2017)

Arbustal denso. Cobertura compuesta principalmente por un estrato arbustivo dominante con presencia de un estrato arbóreo y herbáceo poco desarrollado en donde se han identificado un total de 69 especies presentes en este tipo de cobertura de las 135 presentes en el humedal, siendo la cobertura con mayor riqueza del humedal según la CAR, 2017.

7.2. Invertebrados edáficos

Para los invertebrados edáficos se encontró una baja presencia en los puntos de muestreo, se determinaron familias de formícidae en gran extensión, dentro del orden coleóptera, melolonthidae, Scarabaeidae, miriápodos Himantariidae, arácnidos y Lombrícidae (Anexo 2). Se optó por usar la riqueza de especies como criterio para generar el mapa temático de macrofauna del suelo (Ilustración 21), aunque se tuvo en cuenta que esta puede llegar a ser limitada al no tener en consideración la identidad de las especies (Castaño 2005), no se le dio importancia debido a que, aunque se encontró mayor número de especies en la zona de bosque, las identificadas en el área de pastos limpios también se hallaron en la primer cobertura.

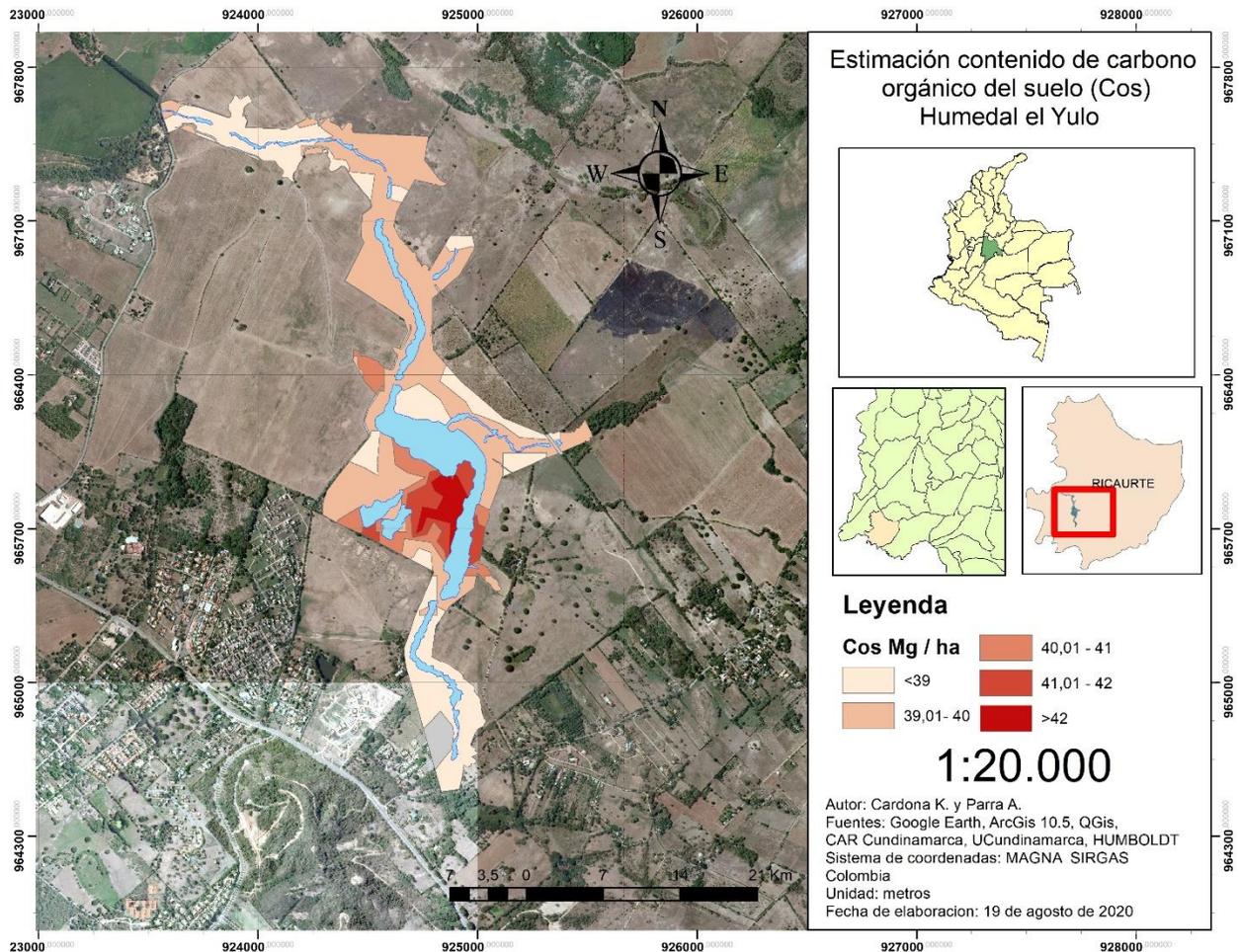
Ilustración 21. Riqueza de biodiversidad edáfica Humedal el Yulo



Fuente: autor

7.3. Estimación de contenido de Carbono Orgánico del suelo

Ilustración 22. Estimación de carbono orgánico del suelo



Nota: modelo calibrado con el programa Salford Predictive Modeler (Random Forest), bajo el procedimiento propuesto por Ayala, 2019

Tabla 4. Carbono organico del suelo retenido

Cos Mg/ ha	Área (ha)
42	4,1
41	6,48
40	8,6
39	41,19
38	38,39

Fuente: autor

Dentro del modelo generado se identifica que el mayor contenido de carbono orgánico del suelo (Cos) se concentra en la zona centro del humedal con 42 ton/ ha lo que equivale a tener 172.2 ton en 4.1 ha, esto se debe a que este lugar es el menos impactado por su difícil Acceso contrario a las zonas externas las cuales se ven afectadas por acciones antropogénicas. Según la tabla 4 se estimó que el total de la ronda del humedal retiene aproximadamente un total de 3861.87 ton de carbono.

Se identifica que el mayor contenido de carbono orgánico del suelo (Cos) se concentra en la zona centro del humedal esto puede deberse a que en las visitas se observó que este lugar es el menos impactado por su difícil acceso contrario a las zonas externas donde se evidencia que son áreas impactadas por la labranza y la ganadería validando lo expuesto por Vásquez, P. y Macías. M. (2017) en donde exponen que “son los cambios o alteraciones en el suelo los que afectan la capacidad para capturar carbono”.

Se evidencia que la acidez del suelo en el humedal tiene un aumento indirecto con respecto al contenido de carbono en el suelo contrario a lo expuesto por Martínez, Fuentes y Acevedo (2008), quienes expresan que el contenido de carbono tiende a aumentar cuando el suelo es ácido y tiende a disminuir cuando el pH del suelo es alcalino.

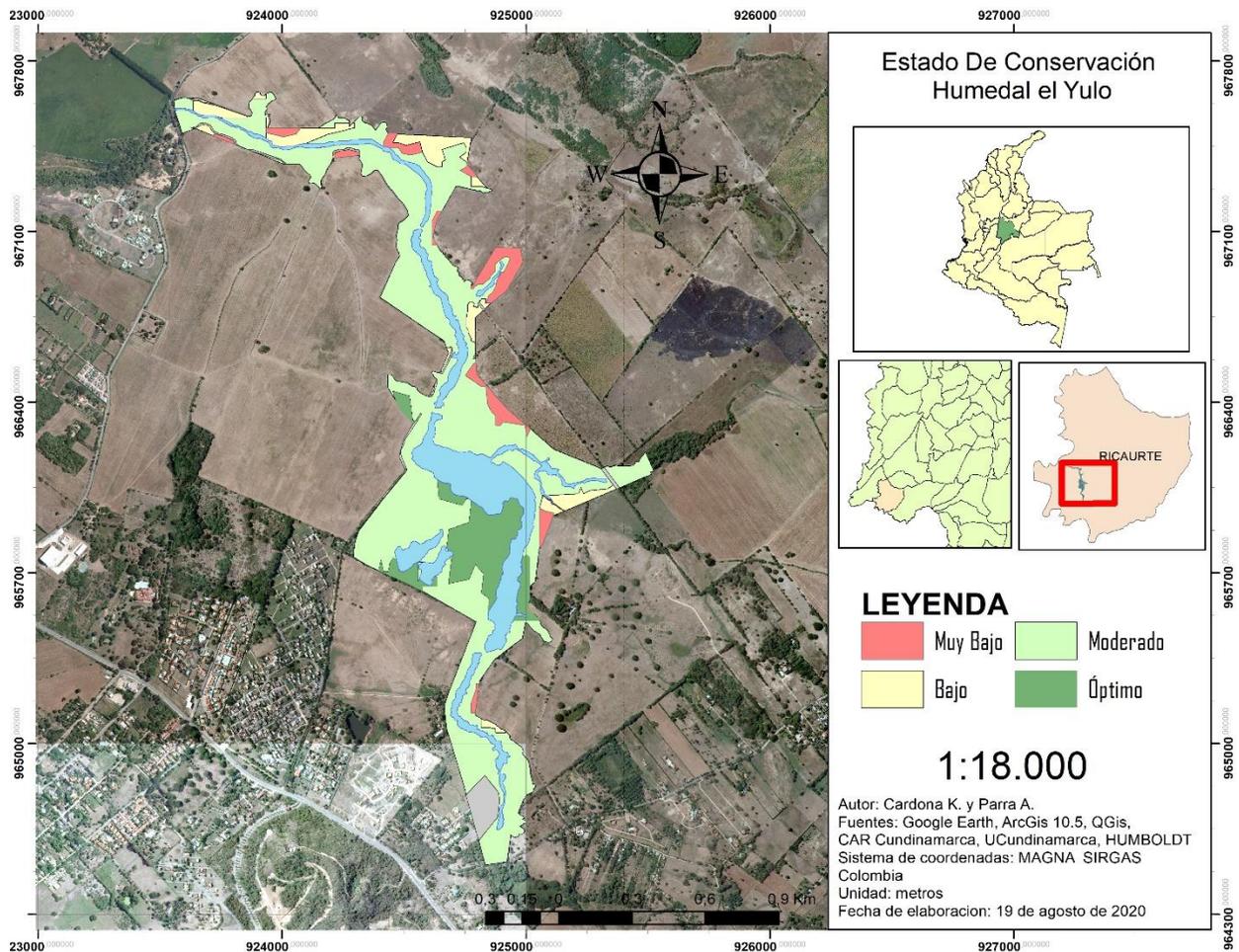
Con respecto a la erosión se encontró que las zonas donde se evidencia este proceso son áreas donde se evidencian bajos contenidos de carbono orgánico del suelo, esto debido a que se presenta la pérdida de las capas más superficiales del suelo que concentran el mayor contenido de carbono y de nutrientes del suelo (Martínez et al. 2008).

Tras la comparación de la pendiente y dirección con respecto al contenido de carbono orgánico en el suelo del humedal se evidencio que este presenta un aumento conforme la pendiente disminuye de acuerdo a lo expuesto por Madrigal, Acevedo, Hernández y Romo (2019) y Villar, Tosquy, López, Esqueda y Palacios (2013).

7.4. Algebra de mapas

Al combinar las diferentes variables se obtuvo un mapa temático del estado de conservación (ilustración 23), en el cual se evidencia que las áreas que presentan menor estado de degradación, con alto contenido de carbono orgánico, buena actividad biológica y una pendiente estable obtuvieron un valor de 4 (Óptimo) o 3 (Moderado), contrario, a aquellas zonas que tienen mucha evidencia de degradación, con bajo contenido de carbono orgánico, poca actividad biológica obtuvieron los valores más bajos. Las áreas con valor moderado para las variables mencionadas fue el grupo mayoritario.

Ilustración 8. Mapa temático del estado de conservación



Fuente: autor

En la tabla 5 se muestra el estado de diferentes áreas dentro de la ronda del humedal el Yulo, se observa que la ronda se encuentra en un estado moderado presentando un área de 71,05 hectáreas representado el 72%, en estado óptimo presento un área de 14,7 hectáreas representando 14,9%, 13 hectáreas se encuentran con el mayor estado de degradación.

Tabla 5. Estado de conservación de la cobertura

Estado de conservación	hectárea	%
Muy bajo	5,7	5,8
Bajo	7,3	7,3
Moderado	71,05	72
Optimo	14,7	14,9

Fuente: autor

8. CONCLUSIONES

- La cobertura de Arbustal denso es la más representativa en el Humedal con una extensión de 68,40 ha, esto se debe a que la reserva se encuentra dentro de los ecosistemas de bosque seco tropical el cual ha sido altamente intervenido por diversos factores antrópicos (Humboldt, 2019), dentro de la reserva se puede observar el impacto sobre las diferentes coberturas con una mayor afectación en Arbustal denso, pastos limpios por la tala y la presencia ganado. la cobertura con mayor grado de conservación es la de bosque fragmentado con vegetación secundaria esto puede deberse a que se encuentra en la zona central del humedal y el acceso es más difícil.
- En el cálculo de los diversos índices y combinaciones RGB se observa que las cortinas de agua reflejan índices que representan vegetación saludable esto debido a que en estos cuerpos de agua podemos encontrar la presencia de diversas plantas como lo son las macrófitas, que se encuentran en el lugar ideal para su desarrollo. Es por ello que la interpretación de estos índices debe realizarse con precaución, dando así importancia a los análisis de tipo supervisado permitiendo reducir estos errores (Perez, M. y González, J. 2011; Fernández, Martín, Vilar y Pacheco 2015).

- La riqueza de las comunidades de invertebrados edáficos en el Humedal fue relativamente bajo esto puede deberse a que el ecosistema presenta altos gradientes de perturbación y que la fase de campo se realizó en época seca, según lo expuesto por Bonilla, Rascallo, Jimeno y García (2008) en donde percibieron una disminución de artrópodos en la época seca; además de que la cantidad de transectos fue limitado debido al problema sanitario que está viviendo el mundo en este momento.
- Se consiguió generar un mapa de predicción de carbono orgánico del suelo, con ayuda de programas SIG y minería de datos, bajo la calibración de modelos de predicción estimando que el total de la ronda del humedal retiene aproximadamente un total de 3861.87 ton Cos, así mismo se observó que la retención de carbono oscila en mayor proporción entre las 38 y 39 toneladas de Cos por hectárea.
- El Uso de este tipo de algoritmos permite obtener información más fácil de lugares en los que puede ser limitado el ingreso además de reducir los altos costos en diversos análisis de laboratorio y de personal para trabajo de campo.
- La delimitación de las zonas potencialmente degradadas dentro del Humedal el Yulo muestra la importancia de la aplicación de los SIG en los estudios de procesos ambientales, ya que este proceso permite establecer y trabajar con criterios más adecuados al contexto y características del área de estudio.
- Las zonas más afectadas son los alrededores (13 ha), ya que se encuentran más susceptibles a la intervención antrópica debido a que el humedal limita con diferentes fincas y a pesar de la intervención de la entidad encargada se sigue notando la intervención y presencia de ganado

- A pesar de los procesos de conservación que promueve la población del municipio de Ricaurte, hay una baja recuperación en las áreas colindantes con las fincas vecinas, encontrándose zonas de cobertura de pastos limpios con procesos de cárcavas, además de encontrar la presencia de vacas y caballos en la cobertura de tipo Arbustal denso (CAR, 2017)

9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a las entidades encargadas una mayor presencia en el humedal, así como promover actividades para la rehabilitación de las zonas degradadas en proceso de erosión.
- Se recomienda que para próximos estudios se integren más puntos de monitoreo de carbono en pro de darle una mayor representatividad a la calibración del modelo de predicción
- Para próximos estudios se recomienda que el estudio del carbono sea integral y se analice también el carbono aéreo.
- Se recomienda realizar un estudio más exhaustivo respecto a la riqueza de macrofauna edáfica en el humedal el Yulo. En este caso la restricción fue debida a la limitación de movilidad debido a la emergencia Covid 19.

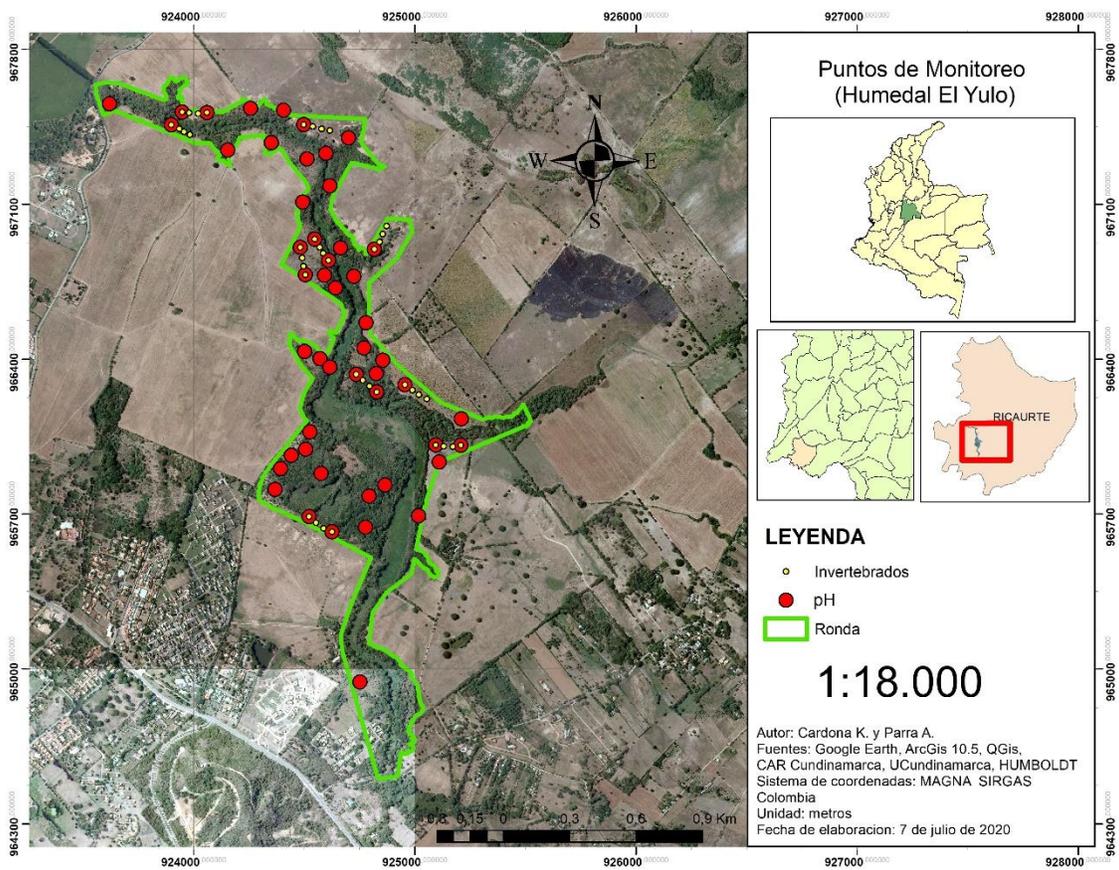
10. ANEXOS

- Anexo 1 Salida Reconocimiento del Humedal (23 de abril de 2018)





- Anexo 2 puntos de monitoreo



- Anexo 3 identificaciones de macrofauna edáfica



- Anexo 4 cálculo índices macro fauna edáfica

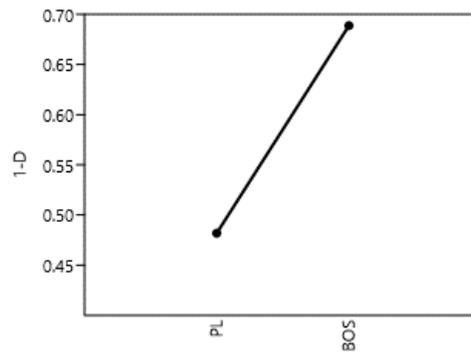
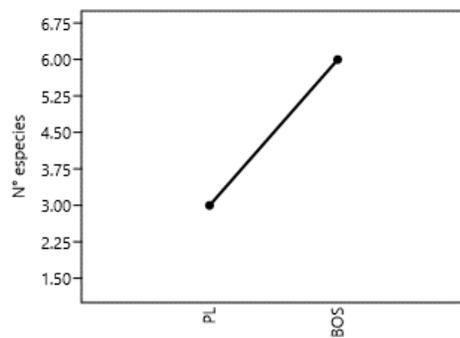
X	Y	TAX	COBERTUR A
924498,04 3	967459,877 3	5 hormiga	pastos limpios
924539,47 7	967451,810 2	1 chizas, 2 hormigas	pastos limpios
924578,68 2	967440,744 5	Np	pastos limpios
924615,59 7	967433,172 1	1 cien pies , 2 hormigas	pastos limpios
923935,23 3	967440,234 6	2 hormigas, 1 cien pies, lombriz	BOS
923898,49	967458,205 8	Np	BOS
923983,52	967413,776 2	lombriz, 3 hormigas	BOS
923956,4	967427,005 4	Chiza	BOS
924490,69 4	966857,106 4	2 chizas	BOS
924496,71 6	966819,100 9	araña, 3 hormigas	BOS
924505,86 4	966781,678 3	4 hormigas, arañas	BOS
924547,88 1	966942,251 6	3 chizas 1 hormiga, lombriz	BOS
924569,89 8	966904,757 1	2 arañas 1 hormiga	BOS
924585,69 9	966878,977 1	2 hormigas, 3 chizas	BOS
924552,97 6	965661,387	3 hormigas, 1chiza, 2 lombriz	BOS
924587,03 5	965635,711 8	2 lombriz, 4 hormigas	BOS
924625,81	965619,992 3	2 cien pies, 3 hormigas	BOS
924521,59	965688,432 1	6 hormigas, 1 cien pies , 1 lombriz	BOS
924765,05 1	966304,494 5	escarabajo, 2 hormigas , 1 lombriz	BOS
924795,65 1	966278,085 7	araña, 2 hormigas, 2 cien pies	BOS

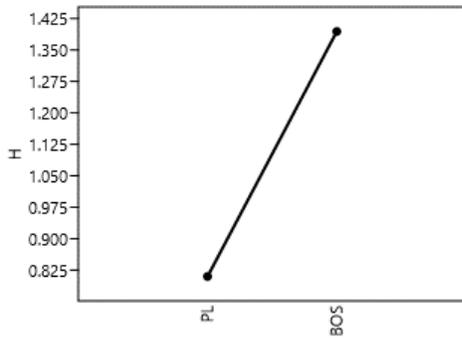
924828,34 8	966251,676 9	3 chizas , 3 hormigas	BOS
924735,40 7	966331,198	4 hormigas, 2 lombriz, 2 chizas	BOS
924955,71 6	966284,2	Np	pastos limpios
924989,43 1	966260,401	Np	pastos limpios
925018,18 8	966239,576 8	3 hormigas	pastos limpios
925053,88 7	966220,735 9	lombriz, 2 hormigas	pastos limpios
925130,95 2	966006,395 4	4 chizas	pastos limpios
925171,51 8	966005,550 3	Np	pastos limpios
925207,85 9	966010,621 1	hormiga, cien pies	pastos limpios
925095,45 6	966012,311 3	Np	pastos limpios
924816,74 7	966897,151 7	Np	pastos limpios
924840,54 6	966929,280 4	cien pies, 2 hormigas	pastos limpios
924856,01 5	966964,978 9	Np	pastos limpios
924872,67 5	967001,867 4	chiza , 2 hormigas	pastos limpios
923947,72 5	967516,191 9	3 hormigas	pastos limpios
923979,77 8	967513,082 2	2 hormigas	pastos limpios
924020,68 3	967509,733 3	1 chiza	pastos limpios
924059,67 3	967514,039	4 hormigas	pastos limpios
924609,68 2	966846,742 9	4 chizas, 1 lombriz, 2 hormiga	BOS
924482,39 3	966905,214 7	Np	BOS

SP	orden	Familia	COBERTURA		ESTADO SUELO
			PL	BF	GRUPO FUNCIONAL
Hormiga	Hymenoptera	Formícidae	28	43	Ingenieros del suelo

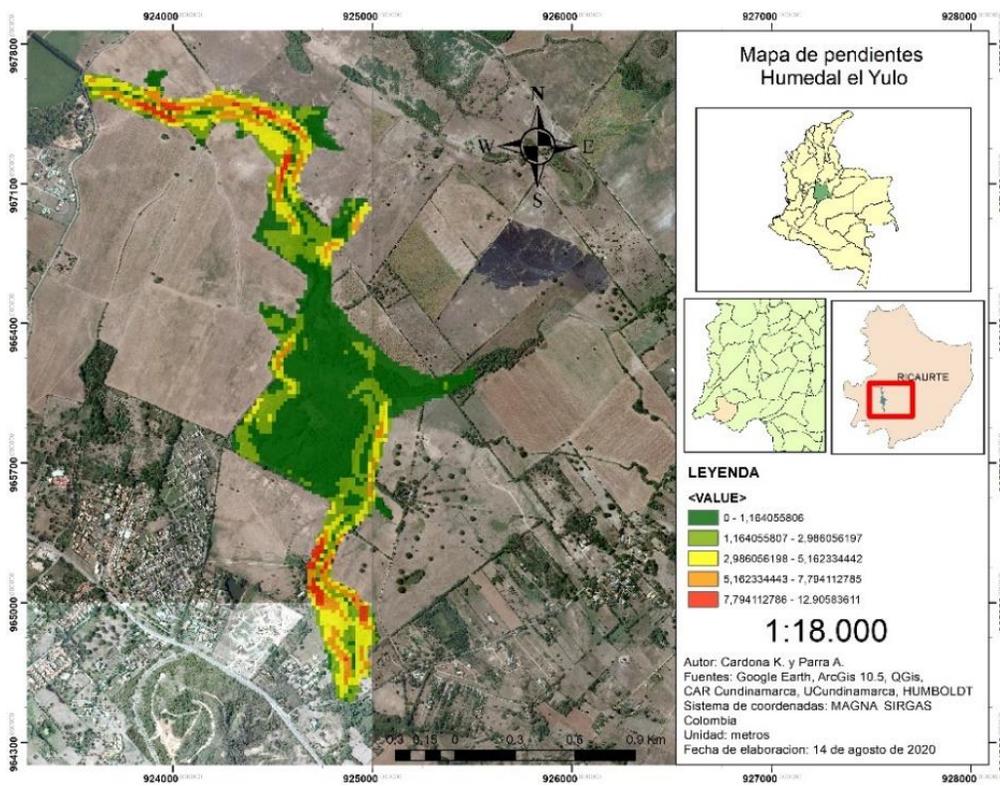
Chiza	Coleóptera	Melolonthidae	11	19	herbívoros
Escarabajo	coleoptera	Scarabaeidae	0	1	depredadores
ciempies	Geophilomorpha	Himantariidae	3	7	depredadores
Lombriz	Haplotaxida	Lombrícidae	0	13	Ingenieros del suelo
Araña	Aranae	G. arácnidos	0	6	depredadores

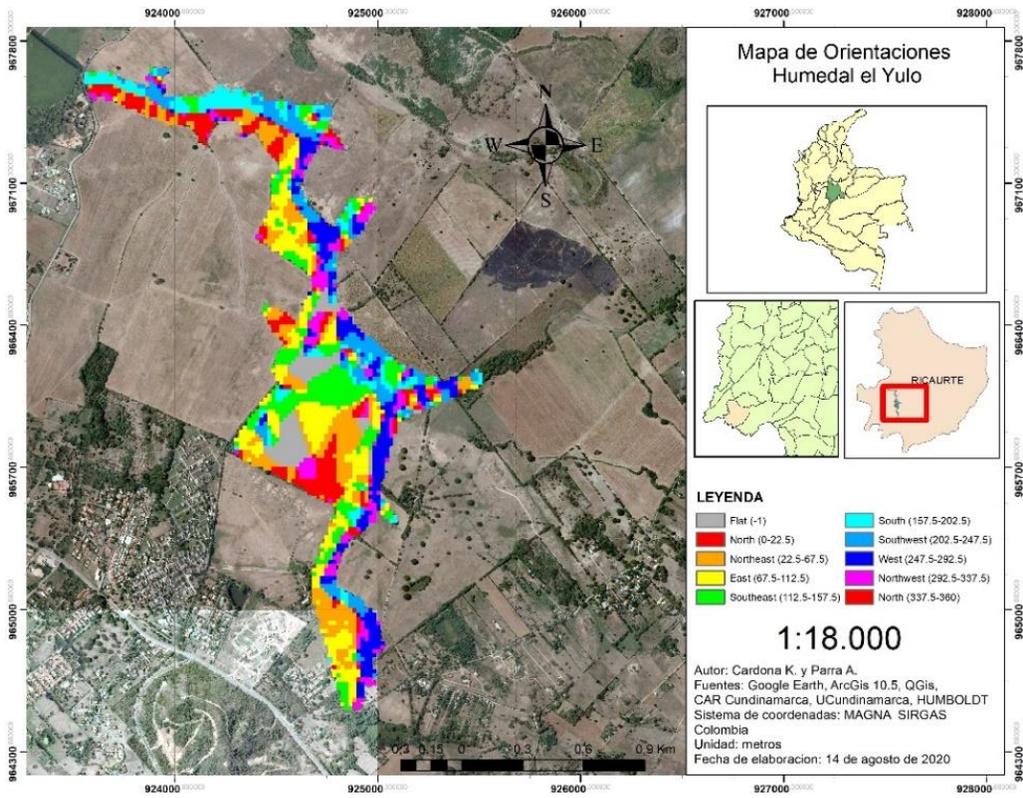
INDICES de biodiversidad fauna edáfica HY		
índices	PL	BOS
Taxa_S	3	6
Individuos	42	89
Dominance_D	0,5181	0,3112
Simpson_1-D	0,4819	0,6888
Shannon_H	0,8097	1,394
Menhinick	0,4629	0,636
Margalef	0,5351	1,114
Equitability_J	0,737	0,7782

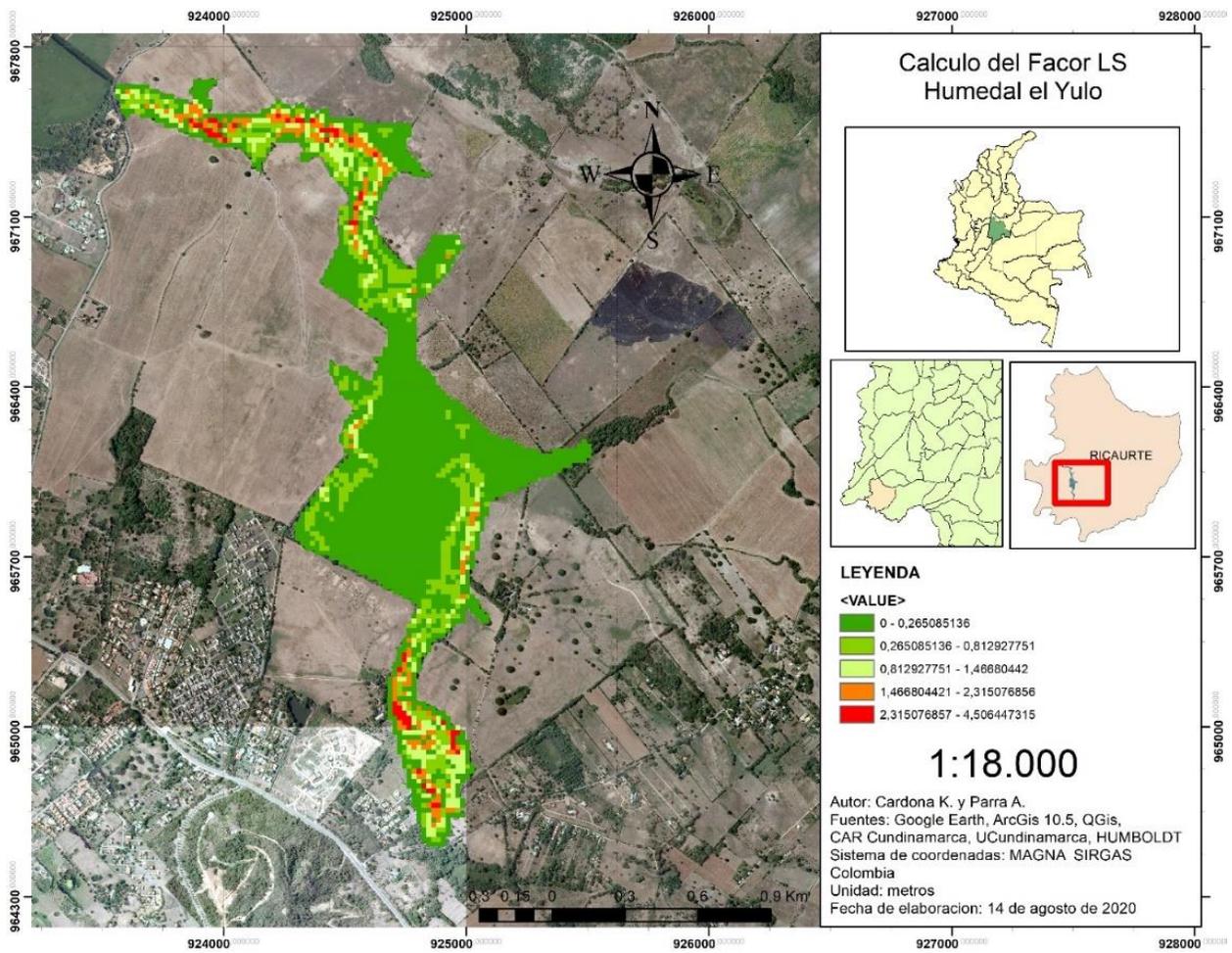




- Anexo 5. Variables topográficas





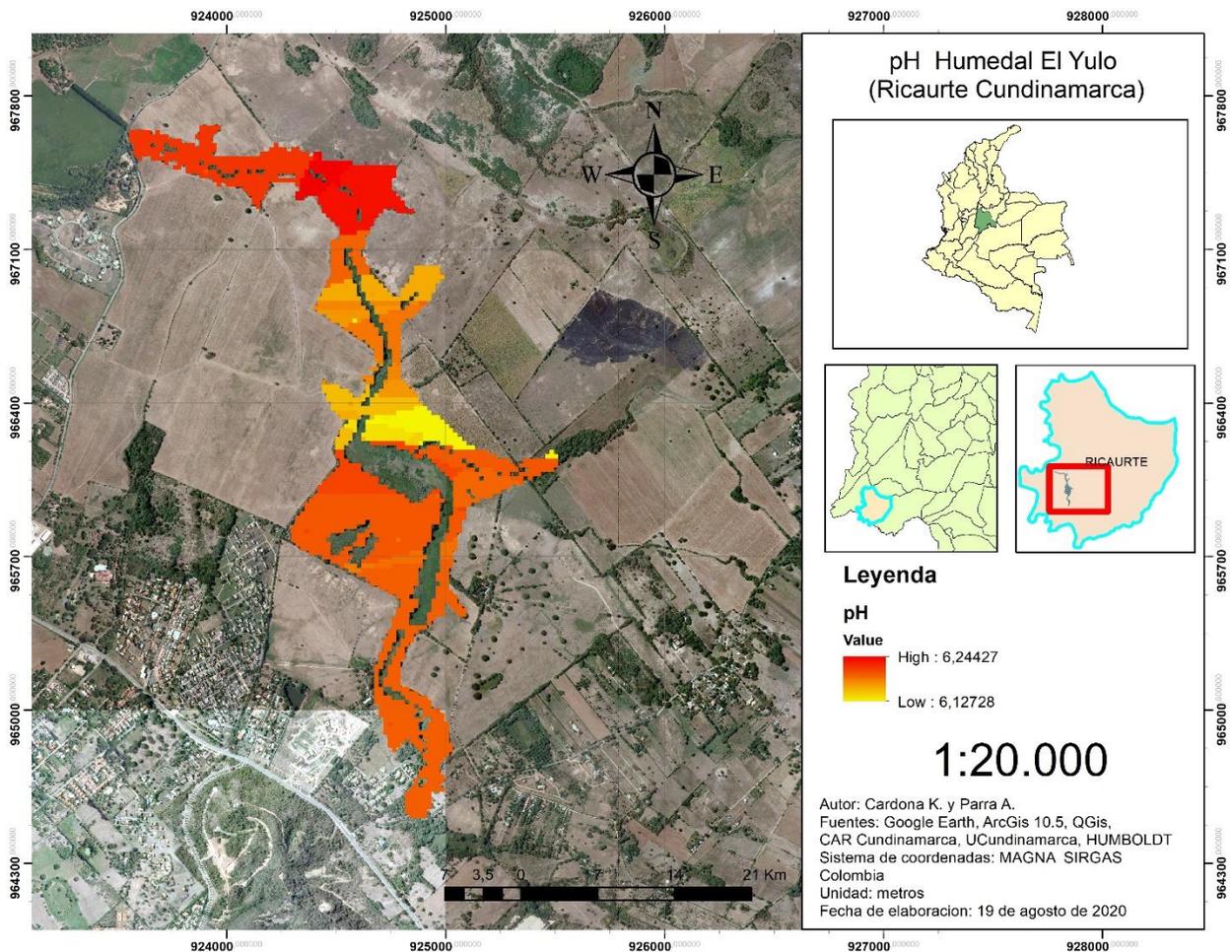


- Anexo 6 pH suelo humedal el Yulo

X	Y	Ph
924616,207	966363,577	6,2
924779,394	966564,112	6,2
924618,852	967077,293	6,3
924406,665	967524,611	6
924615,517	967182,966	6,2
924257,65	967533,822	6,2
924571,959	966401,8	6,5
924664,317	966902,513	6,2
591097,704	968477,101	6
924598,582	967329,919	6,3
924446,581	967439,187	6,2
924723,849	966774,495	6,2

924493,142	97110,126	6,2
924508,153	967406,067	6,6
924378,49	966092,117	6,1
924748,504	965401,493	6,12
924975,718	964998,087	6,36
924792,689	965780,689	5,9
924592,536	966778,449	5,54
924735,407	966331,198	6,3
924445,586	967199,139	6,1

Anexo 7 mapa temático pH del suelo humedal el Yulo



9. BIBLIOGRAFÍA

1. AITEC CONSULTORES LIMITADA (2017). Tercer Informe Realizar los diseños detallados para la reconfiguración hidrogeomorfológica de la Reserva Hídrica del humedal El Yulo, determinar la capacidad de asimilación de nutrientes y contaminantes y proponer las acciones a realizar para la rehabilitación y recuperación de sus hábitats. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Tomo 1- componente abiótico.
2. Alemán, I., y Guido, F. (2016). Comparación De Dos Técnicas Para La Determinación De Carbono Orgánico Del Suelo, en el Lafqa Departamento De Química, Unanmanagua, Septiembre-Diciembre, 2015 (tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma De Nicaragua, Managua. Recuperado de <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/2722>
3. Álvarez, V., García, M., González, G., Hernández, V., Segura, M. y Yescas, P. (2018). Variabilidad Espacial del Carbono Organico e Inorgánico del Suelo en la Comarca Lagunera, México. Bol. Soc. Geol. Mex vol.70 (3). Doi: <https://doi.org/10.18268/bsgm2018v70n3a2>
4. Armas, D., Guevara, M., Alcaraz, D., Vargas, R., Soriano, M., Durante, P. y Oyonarte, C. (2017). Mapa digital del perfil del carbono orgánico en los suelos de Andalucía, España. Ecosistemas 26(3):80-88. Doi.: 10.7818/ECOS.2017.26-3.10
5. Arzuaga, S., Toledo, D., Contreras, S. & Vázquez, S. (2015). Carbon And Nitrogen Stocks And Stratification Ratios In Oxisols Under Forest Systems. Ciencia del Suelo, 34, p.13-20. Recuperado de <Http://Www.Scielo.Org.Ar/Pdf/Cds/V34n1/V34n1a02.Pdf>
6. Ayala, F. (2002). Notas Sobre Impactos Físicos Previsibles Del Cambio Climático Sobre Los Lagos Y Humedales Españoles. La Directiva Marco Del Agua: Realidades Y Futuros:

Comunicaciones. Dianet, P. 360-364. España. Recuperado de

[Http://Www.Divulgameteo.Es/Uploads/Impacto-Cc-Lagos-Humedales.Pdf](http://Www.Divulgameteo.Es/Uploads/Impacto-Cc-Lagos-Humedales.Pdf)

7. Bonilla, R., Rascallo, B., Jimeno, J. y García, T. (2008). Producción y descomposición de la hojarasca en bosques nativos y de *Leucaena* Sp., en Codazzi, Cesar. Ciencia y Tecnología Agropecuaria. Vol 9 (2), p. 5-11. Recuperado de

<http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/113>

8. Burbano, H. (2018). El Carbono Orgánico Del Suelo Y Su Papel Frente Al Cambio Climático. Revista Ciencias Agropecuarias, 34(1), 82–96. Doi: [Https://Doi.Org/10.22267/Rcia.183501.85](https://doi.org/10.22267/Rcia.183501.85)

9. Cabrera, G. (2012). La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación / perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. Pastos y Forrajes vol.

35(4). Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-

03942012000400001

10. Centro Internacional de Agricultura Tropical Instituto de Biología y Fertilidad de Suelos Tropicales Grupo de América Latina (2011). Protocolo De Muestreo Para La Macrofauna Del

Suelo. Recuperado de [https://suelosandinos.files.wordpress.com/2015/09/ciat-tsbf-lac-](https://suelosandinos.files.wordpress.com/2015/09/ciat-tsbf-lac-procedimiento_muestreo-macrofauna_suelo-jun-2011.pdf)

[procedimiento_muestreo-macrofauna_suelo-jun-2011.pdf](https://suelosandinos.files.wordpress.com/2015/09/ciat-tsbf-lac-procedimiento_muestreo-macrofauna_suelo-jun-2011.pdf)

11. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (2012). Humedal El Yulo - Ricaurte, Cundinamarca. CAR1148. Recuperado de

<http://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/36114/06988.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

12. Caicedo, E. y Peña, R. (2019). Análisis Del Índice Normalizado De Diferencia De

Vegetación (NDVI) En La Zona Oriente Del Departamento Del Tolima (Tesis Pregrado).

Universidad de Ibagué. Colombia. Recuperado de

<https://repositorio.unibague.edu.co/bitstream/20.500.12313/1250/1/Trabajo%20de%20grado.pdf>

13. Caro, A. (2012). Modelización geoestadística para la predicción de actividad de cs-137 en suelo (Tesis Pregrado). Universidad autónoma de Madrid. España. Recuperado de

https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/12304/59935_Caro%20Benito%20Angela.pdf?sequence=1

14. Castro, D., Medina, D. y Ospina, D. (2016). Macrofauna del suelo. La Vida del suelo Y su Biodiversidad. Recuperado de [https://biologiadelsuelo.wixsite.com/blog/single-](https://biologiadelsuelo.wixsite.com/blog/single-post/2016/1/14/La-Macrofauna-del-suelo)

[post/2016/1/14/La-Macrofauna-del-suelo](https://biologiadelsuelo.wixsite.com/blog/single-post/2016/1/14/La-Macrofauna-del-suelo)

15. Cerón, L. (2012). Indicadores De Salud De Los Suelos En Cuencas Hídricas De Bogotá D.C.

COLECCIÓN DE GESTION AMBIENTAL Universidad EAM P.71. Recuperado de

[Https://Repository.Ean.Edu.Co/Bitstream/Handle/10882/3984/Indicadores Salud.Pdf?](https://Repository.Ean.Edu.Co/Bitstream/Handle/10882/3984/Indicadores%20Salud.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y)

[Sequence=1&Isallowed=Y](https://Repository.Ean.Edu.Co/Bitstream/Handle/10882/3984/Indicadores%20Salud.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y)

16. Consejo Municipal De Ricaurte. (2016). *Plan De Desarrollo Territorial Ricaurte –*

Cundinamarca 2016 – 2019. Ricaurte, Cundinamarca. Recuperado de [Www.Concejo-Ricaurte-](http://www.Concejo-Ricaurte-Cundinamarca.Gov.Co)

[Cundinamarca.Gov.Co](http://www.Concejo-Ricaurte-Cundinamarca.Gov.Co)

17. Comunidades Europeas. (2008, Junio). Cambio Climático: ¿El Suelo Puede Cambiar Las

Cosas? En L. Gnacadja (presidencia). Conferencia Cambio climático: ¿el suelo puede cambiar

las cosas? Conferencia dirigida por la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión

Europea Bruselas. Recuperado de [Http://Europa.Eu](http://Europa.Eu)

18. Environmental Systems Research Institute (2016). Cómo funciona Kriging. ArcMap. Recuperado de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm>
29. Environmental Systems Research Institute (2020). Análisis Geográfico. Recuperado de <https://learn.arcgis.com/es/arcgis-book/chapter5/>
20. Environmental Systems Research Institute (2016). Comprender el análisis de superposición. Recuperado de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/understanding-overlay-analysis.htm>
21. Falla, J. (2012). GeoProcesamiento. Franco, R. (2017). Composiciones Landsat en ArcGis. Guía Básica. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://mixdyr.files.wordpress.com/2017/06/composiciones_landsat_en-arcgis.pdf
22. Fernández, D., Martín, M., Vilar L. y Pacheco J. (2015). Estimación Del Contenido De Humedad De La Vegetación Herbácea En Una Zona De Dehesa A Partir De Imágenes Hiperespectrales Adquiridas Por El Sensor Aerotransportado Casi. GeoFocus, nº 16, p. 177-204. Recuperado de <http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/399>
23. García, J. y Rodríguez, L. (2017). Estado actual del Humedal El Yulo (Ricaurte - Cundinamarca, 2016). Revista Facultad de ciencias agropecuarias. Vol.3 n 2. p.45. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/320878429_Estado_actual_del_Humedal_El_Yulo_Ricaurte_-_Cundinamarca_2016

24. García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores De La Calidad De Los Suelos: Una Nueva Manera De Evaluar Este Recurso. *Pastos Y Forrajes*, 35(2), p. 125–138. Recuperado de [Http://Scielo.Sld.Cu/Scielo.Php?Script=Sci_Arttext&Pid=S0864-03942012000200001](http://Scielo.Sld.Cu/Scielo.Php?Script=Sci_Arttext&Pid=S0864-03942012000200001)
25. Gallego, M. y Salguero, B. (2015). Ensamblaje De Hormigas Del Bosque Seco Tropical, Jardín Botánico De Cali. *Colombia Forestal*, 18(1), 139-150. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v18n1/v18n1a10.pdf>
26. Gutiérrez, J., Ordoñez, N., Bolívar, A., Bunning, S., Guevara, M., Medina, E., Olivera, C., Olmendo, G., Rodríguez, L., Sevilla, V., y Vargas, R. (2020). Estimación del carbono orgánico en los suelos de ecosistema de páramo en Colombia. *Ecosistemas* 29(1):1855. Doi: <https://doi.org/10.7818/ECOS.1855>
27. Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (2013). *Cambio Climático 2013 Bases Físicas Resumen Para Responsables De Políticas*. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático” Recuperado de [Www.Ipcc.Ch](http://www.Ipcc.Ch)
28. Henao, S. (2015). Indicadores De Calidad Ambiental De Humedales (tesis de pregrado). Universidad Católica De Manizales, Colombia. Recuperado de [Http://Repositorio.Ucm.Edu.Co:8080/Jspui/Bitstream/Handle/10839/1136/Santiago Hernández Henao. Pdf? Sequence=1&Isallowed=Y](http://Repositorio.Ucm.Edu.Co:8080/Jspui/Bitstream/Handle/10839/1136/Santiago%20Hern%C3%A1ndez%20Henao.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y)
29. Herrera, M., Sepúlveda, M., y Aguirre, N. (2008). Análisis sobre la aplicabilidad de las herramientas de gestión ambiental para el manejo de los humedales naturales interiores de Colombia. *Gestión y Ambiente*, 11(2), 7-25. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/13973>

30. Huamanyauri, L. (2012). Macrofauna del suelo en diferentes usos de la tierra en sistemas ganaderos en el Distrito de José Crespo y Castillo- Aucayacu (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú, 2012. Recuperado de <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/782/TZT-547.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

31. Iturraspe, R. (2010). Las Turberas De Tierra Del Fuego Y El Cambio Climático Global. Fundación para la conservación y el Uso sustentable de los Humedales. 1ª ed. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <Http://Lac.Wetlands.Org/>

32. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2018). Identificación de la hoja de ruta y procedimientos para la estimación del contenido de carbono orgánico en suelos de páramos y humedales. Colección Páramos: Biodiversidad y Recursos Hídricos en los Andes del Norte. Bogotá, D.C. Recuperado de <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/34980>

33. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). Guía De Muestreo. Recuperado de Http://Www2.Igac.Gov.Co/Igac_Web/Userfiles/File/Pdf_2010/Guia_De_Muestreo_Para_Clientes.Pdf

34. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p. ISBN: 978-958-806729-2. Recuperado de http://siatac.co/c/document_library/get_file?uuid=a64629ad-2dbe-4e1e-a561-fc16b8037522&groupId=762

35. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (2014). METODOLOGÍA CORINE LAND COVER. IDEAM. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>
36. IHOBE, Sociedad Pública del Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco (2011). Primera Evaluación Del Estado De Conservación De Los Hábitats Hidroturbosos De Interés Comunitario En El País Vasco. Bilbao p.60. Recuperado de Http://Www.Euskadi.Eus/Contenidos/Documentacion/Habitats_Hidroturbosos/Es_Doc/Adjuntos/06_Habitat.Pdf
37. Jiménez, A., & Daza, C. (N.D.). Educación Ambiental en El Humedal El Yulo. Recuperado de Https://Www.Rds.Org.Co/Apc-Aa-Files/.../Humedal_El_Yulo_1.Pdf%0a
- Quintana, R., Vicari, R., Magnano, A. y Madanes, A. (2014). Resiliencia De Humedales Frente Al Cambio Climático. Ed. 1 p. 250- 266. Doi: <Https://Doi.Org/10.13140/2.1.2015.7129>
38. Madrigal, S., Acevedo, D., Hernández, E. y Romo, J. (2019). Influencia de la Cobertura, pendiente, y profundidad, sobre el carbono y nitrógeno del suelo. Revista mexicana de ciencias forestales. Vol.10 (51) p. 201- 223. Recuperado de <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i51.113>
39. Martínez, Y. (N.d.).Las Hormigas: ¿Plagas o enemigos naturales de plagas? LEISA Vol. 28 (1).Recuperado de <http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-28-numero-1/884-las-hormigas-iplagas-o-enemigos-naturales-de-plagas>
40. Martínez, E., Fuentes J. y Acevedo, E. (2008). Carbono organico y las propiedades del suelo. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, v.8 (1), p. 68-96. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/120129>
41. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2002). Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia, ed.1 P. 67. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Nor>

mativa/Políticas/polit_nal_humedales_int_colombia.pdf

42. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Política Nacional de Cambio Climático*. (Dirección De Cambio Climático). ISBN: 978-958-8901-65-7 p.290. Bogotá,

Colombia. Recuperado de

Http://Www.Minambiente.Gov.Co/Images/Cambioclimatico/Pdf/Politica_Nacional_De_Cambio_Climatico_-_Pncc_/Pncc_Políticas_Publicas_Libro_Final_Web_01.Pdf

43. López, E., Plata, A., & Fuentes, M. (2015). Humedal Torca-Guaymaral: Iniciativas Para Su Conservación. *Conservación De Humedales*, ISBN: 978-958-8866-79-6 p.122. Recuperado de

<Www.Usergioarboleda.Edu.Co>

44. Olmos, E., González, M., & Contreras, M. (2013). Percepción De La Población Frente Al Cambio Climático En Áreas Naturales Protegidas De Baja California Sur, México. *Revista Latinoamericana*, Volumen 12, Nº 35, 2013, p. 459-481. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-65682013000200020>

45. Perez, M. y González, J. (2011). Aplicaciones de la teledetección y SIG en la caracterización de humedales en la reserva de la biosfera de la mancha húmeda (tesis Maestría). Universidad

Complutense de Madrid, España. Recuperado de

https://eprints.ucm.es/13964/2/TFM_Maria_Perez.pdf

46. Ramsar. (2013). *Manual de la convención de Ramsar: guía a la convención sobre los humedales (Ramsar, Irán, 1971)*. Secretaría de la convención de Ramsar. Ed. 6 p.120.

Recuperado de <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/manual6-2013-sp.pdf>

47. Ramsar. (2016, Noviembre 17). Los Humedales Son Cruciales Para Hacer Frente Al Cambio Climático. Ramsar. Recuperado de <https://www.ramsar.org/es/nuevas/los-humedales-son-cruciales-para-hacer-frente-al-cambio-climatico#:~:text=Los%20humedales%20aumentan%20la%20resiliencia,los%20impactos%20de%20cambio%20clim%C3%A1tico.&text=Los%20humedales%20tambi%C3%A9n%20desempe%C3%B1an%20una,carbono%20m%C3%A1s%20eficaces%20del%20planeta.>
48. Roberto (2017, marzo 26). Combinaciones RGB de imágenes Landsat y Sentinel. [web log post] GIS&Beers. Recuperado de <http://www.gisandbeers.com/combinacion-de-imagenes-satelite-landsat-sentinel-rgb/>
49. Roberto (2020, febrero 22). Todo lo que deberías saber sobre imágenes Landsat. [web log post] GIS&Beers. Recuperado de <http://www.gisandbeers.com/lo-deberias-saber-imagenes-landsat/>
50. Rojas, N., & Díaz, L. (2016). Caracterización Biológica Y Social De La Vereda Limoncito Y Ciudadela José María Córdoba Y Su Influencia En El Humedal El Yulo (Ricaurte, Cundinamarca, 2016)(Tesis de pregrado). Universidad De Cundinamarca, Colombia. Recuperado de <http://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/278>
51. Ruiz, J., & Mora, S. (2014). Los Macroinvertebrados Como Indicadores De Calidad Del Suelo En Sistemas De Manejo Agrícola, Ganadero Y Silvopastoril, Evaluados En La Reserva Natural
52. Minitab (2020). Salford Predictive Modeler. Recuperado de <https://www.minitab.com/es-mx/products/spm/>

53. Milagros, Vereda Bellavista, Municipio De Sibundoy, Putumayo. Putumayo (tesis opción tecnólogo). Recuperado de [Http://Www.Itp.Edu.Co/Web2016/Phocadownload/Investigacion/Semilleros/Conservemos_Nuestros_Suelos/Macroinvertebrados Reserva Milagros Sam \(2014\).Pdf](http://Www.Itp.Edu.Co/Web2016/Phocadownload/Investigacion/Semilleros/Conservemos_Nuestros_Suelos/Macroinvertebrados_Reserva_Milagros_Sam_(2014).Pdf)
54. Salazar, L. (2006). Revisión Y Ajuste De Los Planes De Manejo Ambiental De Los Humedales De Neuta, Tierra Blanca, Laguna De La Herrera Y Humedal El Yulo De Acuerdo Con Lo Establecido En La Resolución 157 De 2004 Del Mavdt. CAR Cundinamarca. Bogotá D.C. Recuperado de [Https://Www.Car.Gov.Co/Uploads/Files/5ac7e68fc9e89.Pdf](https://Www.Car.Gov.Co/Uploads/Files/5ac7e68fc9e89.Pdf)
55. Senhadji, K., Ruíz, M. y Rodríguez, J. (2017). Estado Ecológico De Algunos Humedales Colombianos En Los Últimos 15 Años: Una Evaluación Prospectiva. *Colombia Forestal*, 20(2), 181. <https://doi.org/10.14483/Udistrital.Jour.Colomb.For.2017.2.A07>
56. Mckean, S. (1993). Manual De Análisis De Suelo Y Tejido Vegetal. Centro Internacional de Agricultura Tropical· CIAT. Recuperado de [Http://Ciat-Library.Ciat.Cgiar.Org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2_Manual_De_Análisis_De_Suelos_Y_Tejido_Vegetal_Una_Guía_Teórica_Y_Práctica_De_Metodología.Pdf](http://Ciat-Library.Ciat.Cgiar.Org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2_Manual_De_Análisis_De_Suelos_Y_Tejido_Vegetal_Una_Guía_Teórica_Y_Práctica_De_Metodología.Pdf)
57. Unidas, N., & Clim, C. (1999). Los Humedales Y El Cambio Climático. Recuperado de [Https://Www.Ramsar.Org/Sites/Default/Files/Documents/Library/Dn1999-9papers.Pdf](https://Www.Ramsar.Org/Sites/Default/Files/Documents/Library/Dn1999-9papers.Pdf)
58. Valencia, M., & Figueroa, A. (2014). Vulnerabilidad De Humedales Altoandinos Ante Procesos De Cambio: Tendencias Del Análisis. *Rev. Ing. Univ. Medellín* Vol. 14 (26) p. 29-42. Recuperado de [Http://Www.Scielo.Org.Co/Pdf/Rium/V14n26/V14n26a03.Pdf](http://Www.Scielo.Org.Co/Pdf/Rium/V14n26/V14n26a03.Pdf)

59. Vásquez, J. y Macías, F. (2017). Fraccionamiento químico del carbono en suelos con diferentes usos en el departamento de Magdalena, Colombia. *Terra Latinoamericana* vol. 35 (1) p. 7-17. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57349581002>
60. Vicente, J. (2014). Análisis de la Evolución de Sequias con Metodologías de Teledetección. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional del Litoral, Argentina. Recuperado de <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/593/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
61. Villar, B., Tosquy, O., López, E., Esqueda, V. y Palacios, G. (2013). Impacto de la pendiente y tres sistemas de producción sobre el escurrimiento, la erosión y el rendimiento de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. Vol. 16 (3) p. 497 – 504. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/939/93929595019.pdf>
62. Wang, L. y Qu, J. (2007). NDMI: A normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing. *Geophysical Research Letters*, Vol 34, 120405. Doi: 10.1029/2007GL031021
63. Yolima, M. (2017). Revisión De Métodos Para La Estimación De Captura De Carbono Almacenadas En Bosques Naturales (tesis especialización). Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://Repository.Unimilitar.Edu.Co/Bitstream/Handle/10654/16394/Fen%E1ndezlosadamagdayolima2017.Pdf;Jsessionid=3820bf9d68521e43994ce846f2c77628?Sequence=3>