

Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo

Anexo 1. Lineamientos estadísticos y de gestión de información para la creación e inclusión de indicadores en el proceso de estimación de contenidos de carbono en el Complejo Cenagoso de Zapatosa



Jhenny Liliana Salgado Vásquez
Profesional Estadística y de Gestión de la Información

Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo

Ecopetrol S.A

Santiago Martínez Ochoa
Xiomara Sanclemente Manrique
Lorena Ortiz Melo
Maria Juliana Salcedo Hernández
Adriana Velandia Valero
Jorge Gaviria Chicuasique
Apoyo técnico y Administrativo del
Convenio Específico No. 3044288

Fundación Natura Colombia

Clara Ligia Solano Gutiérrez
Directora ejecutiva

Nancy Vargas Tovar
Subdirectora técnica

Lorena Franco Vidal
Subdirectora técnica

Sandra Galán
Subdirectora técnica

Mauricio Rosas Hurtado
Jefe financiero y contable

Andrea Gutiérrez de Piñeres
Jefe administrativa y de gestión
humana

Eliana Marcela Garzón Fierro
Jefe de comunicaciones

Gustavo Andrés Segura Clavijo
Jefe de proyecto CO2 Humedales

Autores

Equipo técnico CO₂ Humedales

Claudia Patricia Andramunio-Acero
Profesional monitoreo de carbono
Líder técnica del protocolo

Yesid Fernando Rondón-Martínez
Profesional de apoyo transversal

Yennifer García-Murcia
Profesional de biomasa y materia
orgánica muerta

Yenny Beatriz Mendoza Plazas
Profesional de suelos y sedimentos

Mónica Tatiana López-Muñoz
Profesional de biodiversidad

Lina María Parada Alzate
Profesional SIG agua y biodiversidad

Jhenny Liliana Salgado Vásquez
Profesional estadístico y gestión de la
información

Luis Alfredo Moreno-Pérez
Profesional de apoyo local

Patricia Téllez Guio
Sidney Adriano Pérez Villegas
Profesionales SIG Datos de Actividad

Colaboradores técnicos

José Andrés Posada-García
Nathalie Morales García
Javier Sunyer MacLennan
Liliana Ospina Calle
Carolina Bustamante-Gil
Osvar Cupitra Gómez
Santiago Cañón Escobar
Profesionales de campo y análisis

Michelle Hernández Fernández
Cristhian Alfonso Pimiento Ordóñez
Luz Patricia Hernández Arango
Sandra Milena Palacio Taborda
Nicolas Romero-Peña
Profesionales Fundación Natura de
apoyo en el proceso de formulación e
implementación

Colaboradores locales

Francisco Villalobos Ríos
Danilson Segovia Zambrano
Rodolfo Segovia Daza
Vicente Buitrago Segovia
Deibis Armando Martínez Martínez
Omaida Rangel Rangel
Genaro Madrid Álvarez
Alvenis Carpio Castro
Elvin Dewin Cabarcas Monterrosa
Jorge Adolfo Rangel Piñeres
Jaider Guerra Guillen
Celso Moreno Mejía
Fabio Moreno Mejía
Omar Antonio Morales Hurtado
Teobaldo Cervantes Cadena
Edilso Iglesia Machado

Edición

Danyth Janneth Fandiño Lerma
Líder de comunicaciones CO2
Humedales

Diego Alejandro Quintero Candela
Lina Daniela Mutis Prado
Diseño gráfico

Andrea Julieth Castellanos Leal
Diagramación

Claudia Campos Rozo
Corrección de estilo

Alejandro Peña García
José Manuel Pantoja Surmay
Fotografías

Cítese como:

Andramunio-Acero, C., Rondón-Martínez, Y., García-Murcia, Y., Mendoza, Y., López-Muñoz, M., Parada, L., Salgado, J., Moreno-Pérez, L., Téllez, P. y Pérez, S. (2024). Propuesta de *Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo*. Fundación Natura Colombia, Ecopetrol S. A.

ISBN digital: en trámite

Aviso legal

© Fundación Natura Colombia
Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión del contenido de este documento para fines educativos u otros fines no comerciales, con previa autorización de los titulares de los derechos de autor y citando la fuente. Se prohíbe la reproducción de este documento para fines comerciales.

Esta publicación se realizó en el marco del Proyecto CO₂ Humedales, Convenio Específico No. 3044288 entre Fundación Natura Colombia y Ecopetrol S.A.

INTRODUCCIÓN

En este documento se presenta el diseño estadístico de muestreo para la estimación del contenido de carbono en el Complejo Cenagoso de Zapatosa (CCZ) y el diseño de muestreo para establecer la línea base en biodiversidad. Con el fin de generar información robusta que permita alimentar las estadísticas nacionales se siguen los lineamientos expedidos por el Sistema Estadístico Nacional (SEN), así como la política de calidad de la información.

En la etapa de premuestreo se presentan, desde el componente de gestión de información, los lineamientos y las recomendaciones para un adecuado manejo de la información. En esta etapa, desde el componente estadístico, se detallan las consideraciones necesarias para seleccionar el número de muestras requeridas para la estimación de los contenidos de carbono y para la línea base de biodiversidad.

En la etapa de muestreo se detalla el proceso de control de calidad aplicado durante el periodo en campo de validación de la propuesta de *Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo*¹. En la etapa final, de análisis, se presentan las consideraciones incluidas en los análisis realizados con la información generada en la etapa de muestreo y se hacen sugerencias de análisis y de presentación de resultados.

ETAPA PREMUESTREO

GESTIÓN DE INFORMACIÓN

Para el desarrollo de la propuesta de Protocolo y con el objetivo de generar información alineada con la producción de las estadísticas nacionales y con buenas prácticas internacionales, se siguieron los lineamientos para el proceso estadístico del SEN, en sus ocho fases (Decreto 2402 de 2019) (Figura 1). Además, también se tuvo en cuenta lo detallado por la Política de Gestión de la Información Estadística y la Norma Técnica de la Calidad del Proceso Estadístico emitida por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2020), que se complementa con los anteriores lineamientos.

¹ De aquí en adelante, este documento se nombra como propuesta de Protocolo.



Figura 1. Fases y objetivos del Proceso Estadístico. Fuente: Sistema Estadístico Nacional (2020).

En este sentido, en cada una de sus ocho fases se consideró el componente de control del proceso estadístico, para lo cual se diseñaron los siguientes elementos:

- ✦ Instrumentos y estrategias que permiten monitorear y evaluar las actividades de recolección, procesamiento, análisis y difusión de resultados.
- ✦ Métodos para analizar y evaluar la información generada en cada fase del proceso estadístico, a partir de indicadores que monitoreen cada una de ellas.

Para dar cumplimiento a los atributos de calidad, de recomendaciones y de buenas prácticas orientados a fortalecer la documentación estandarizada, se establecieron formatos estandarizados y la documentación de los metadatos en los procesos de generación de información. El uso de formatos estandarizados y registrados en el sistema de calidad permite realizar la trazabilidad de la información y responde a los requerimientos de la Calidad Estadística. En el caso de los metadatos, estos describen la conceptualización, la calidad, la generación, el cálculo y las características de un conjunto de datos

(NTCPE 1000:2020) (Dane, 2022), lo cual permite el uso futuro de la información por otros usuarios.

Fecha de vigencia: 02 de marzo de 2023 Código: FO-GP-30 Versión: 01		PROTOCOLO PARA LA ESTIMACIÓN DE CONTENIDOS DE CARBONO EN HUMEDALES DEL MAGDALENA MEDIO Y BAJO REGISTRO DE DATOS DE CAMPO			
Código repositorio digital	RC-1211	Compartimiento	Biomasa aérea arbórea (BARA)		
Fecha entrega (dd-mm-yyyy)		Zona de Monitoreo			
Departamento		Municipio			
Coordenadas planas (Latitud Norte)		Coordenadas planas (Longitud Oeste)			
Hora (Inicio - Fin)		Responsables			
Por favor registrar en el campo "Responsables" el(los) nombre(s) de la(s) persona(s) que aporta(n) la información y de quien la recolecta					
No. de campo	Campo	Descripción	Tipo de dato	Not Null	
1	id_Indices	Consecutivo dentro de la base de datos	Int	x	
2	Tipo	Corresponde al tipo de biota del dato (Hidrobiota o Biota_terrestre)	Varchar (20)		
3	Grupo	Grupo biótico específico (Fitoplancton, Ficoperifiton, Zooplancton, MIA asociados, MIA bentónicos, Macrófitas, Peces, Aves, Anfibios, Reptiles, Mamíferos)	Varchar (20)		
4	Temp_muestreo	Temporada hidroclicimática de muestreo (Temporada seca, Temporada de lluvias)	Varchar (20)		
5	Sector_Cobertura_muestreo	Sector o cobertura en que se realizó el muestreo	Varchar (20)		
6	Riqueza	Valor del índice de riqueza taxonómica	Numeric (5,2)		
7	Diversidad	Valor del índice de diversidad de Shannon	Numeric (4,2)		
8	Dominancia	Valor del índice de dominancia de Simpson	Numeric (4,2)		
9	Equitatividad	Valor del índice de equidad o equitatividad de Pielou	Numeric (4,2)		

Figura 2. Encabezado de formatos de campo y ejemplo de metadatos. Fuente: elaboración propia (2024).

INDICADORES E ÍNDICES PARA LA GESTIÓN DE INFORMACIÓN

A partir de la búsqueda de información secundaria realizada para cada uno de los compartimientos de carbono identificados en el proyecto, se consultaron publicaciones que aportan metodologías utilizadas a nivel nacional e internacional para las estimaciones de carbono en humedales. Con base en la información secundaria recopilada, se realizó el cálculo de los indicadores que permiten analizar la información consultada (Tabla 1).

Tabla 1. Indicadores de análisis información secundaria.

Indicador	Fórmula
Número de estudios relacionados con estimación de contenidos de carbono	$\% = \frac{\# \text{ estudios de estimación de carbono}}{\# \text{ total de estudios analizados}} \times 100$
Número de estudios por país: este se puede agrupar por región o continente	$\% = \frac{\# \text{ estudios por país, región, municipio}}{\# \text{ total de estudios en el área inmediatamente siguiente}} \times 100$
Número de proyectos cuyo objetivo es la generación de créditos de carbono	$\% = \frac{\# \text{ de proyectos para créditos de carbono}}{\# \text{ total de proyectos}} \times 100$
Temporalidad de los estudios: número de trabajos, documentos, investigaciones por año	$\% = \frac{\# \text{ de estudios del año 2000 – 2005}}{\# \text{ total de estudios desde el año 2000 al 2024}} \times 100$
	$\% = \frac{\# \text{ de estudios del año 2005 – 2010}}{\# \text{ total de estudios desde el año 2000 al 2024}} \times 100$
	$\% = \frac{\# \text{ de estudios del año 2010 – 2015}}{\# \text{ total de estudios desde el año 2000 al 2024}} \times 100$
	$\% = \frac{\# \text{ de estudios del año 2015 – 2020}}{\# \text{ total de estudios desde el año 2000 al 2024}} \times 100$
	$\% = \frac{\# \text{ de estudios del año 2020 – 2024}}{\# \text{ total de estudios desde el año 2000 al 2024}} \times 100$
Número de estudios que identifican los servicios ecosistémicos del humedal	$\% = \frac{\# \text{ de estudios con SE}}{\# \text{ total de estudios}} \times 100$

Fuente: elaboración propia (2024).

GENERACIÓN DE PRODUCTOS FINALES (MATRICES)

Se sugiere aplicar los siguientes lineamientos para una adecuada gestión de la información estadística:

- ✦ Toda base de datos debe tener un índice único (llave primaria, que permita la identificación de cada registro como único).
- ✦ Todo dato que produzca y administre el proyecto debe contar con sus respectivos metadatos, y estos deben contener información detallada de las características de la operación estadística, la estructura de datos, los documentos de referencia y la información sobre la cobertura.
- ✦ Todas las actividades desarrolladas durante el proceso de gestión de la información estadística deben documentarse, con lo cual se garantiza la continuidad de dicho proceso.
- ✦ Toda información generada por el proyecto debe estar debidamente ingresada en el repositorio para la gestión de información estadística, de acuerdo con lo definido por cada líder del componente.
- ✦ El líder del componente que produce o administra la información es el responsable final de su calidad en términos de veracidad, consistencia, oportunidad, accesibilidad y completitud.

ALMACENAMIENTO DE DATOS

Con la aplicación de la propuesta de Protocolo y debido a los procesos de medición y monitoreo, se generó un volumen de información importante, que fue manejado en un principio en hojas de cálculo (p. ej., Excel) por parte de los técnicos y/o expertos temáticos. Dado lo anterior, surgió la necesidad de crear una base en un sistema de gestión de bases de datos (DBMS) que posibilitara mantener y administrar la información colectada en campo.

Los DBMS permiten administrar e interactuar con la información de forma eficiente, y proporcionan almacenamiento, recuperación, seguridad, integridad y otras funcionalidades esenciales para los datos. A diferencia de las hojas de cálculo, las bases de datos (BD) relacionales hacen cumplir reglas de integridad, como la validación del tipo de datos por columna, las restricciones de exclusividad y la integridad referencial, y aseguran así la consistencia de los datos ingresados en ellas. A continuación, se presentan las soluciones de DBMS más usadas en el mercado y sus diferentes características (Tabla 2).

Tabla 2. DBMS - Sistema de gestión de bases de datos disponibles.

Nombre del DBMS	Características
MySQL	<ul style="list-style-type: none"> † Sistema de gestión de bases de datos relacionales de código abierto (RDBMS) † Ampliamente utilizado para aplicaciones web y proyectos de pequeña a mediana escala † Admite múltiples motores de almacenamiento para mayor flexibilidad † Escalable y personalizable
PostgreSQL	<ul style="list-style-type: none"> † Potente sistema de gestión de bases de datos relacionales de objetos de código abierto (ORDBMS) † Enfatiza la integridad y confiabilidad de los datos † Admite características avanzadas de SQL y extensibilidad † Proporciona un amplio soporte para consultas complejas e indexación
Oracle	<ul style="list-style-type: none"> † RDBMS patentado conocido por sus capacidades de nivel empresarial † Ofrece sólidas funciones de seguridad y gestión de datos † Sistema escalable de alto rendimiento para aplicaciones a gran escala † Soporta varias plataformas y tiene herramientas extensas

Fuente: elaboración propia (2024).

DISEÑO ESTADÍSTICO DEL COMPARTIMIENTO BIOMASA Y SUELOS

Con el objetivo de seleccionar las unidades de muestreo para la estimación de carbono, mediante el monitoreo de variables definidas en cada compartimiento de la propuesta de Protocolo se realizó un diseño de muestreo aleatorio estratificado (MAE). Con este fin, se utilizaron como factor de estratificación los resultados obtenidos en el desarrollo cartográfico para la identificación de zonas de monitoreo (ZM), lo cual fue hecho a partir de datos

geográficos de los suelos y de coberturas de la tierra (con información de fuentes de información oficial disponibles a la fecha) que fueron homologadas a clases propuestas por el IPCC (Tabla 3, Tabla 4). Se escogió este diseño debido a que se espera que para una variable dentro de una cobertura (uso de suelo) haya una respuesta más homogénea, es decir, una menor varianza, que entre diferentes coberturas. Lo mismo aplica para los tipos de suelo. El proceso de homologación fue realizado en el CCZ.

Tabla 3. Homologación de la información geográfica de usos a clases IPCC.

Código	Categorías de uso de la tierra para el sector AFOLU adaptadas a humedales	Nivel 3 Corine Land Cover
C	Tierras de cultivo	2.1.1. Otros cultivos transitorios
		2.1.2. Cereales
		2.1.3. Oleaginosas y leguminosas
		2.1.4. Hortalizas
		2.1.5. Tubérculos
		2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos
		2.4.1. Mosaico de cultivos
		2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
		2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales
HZ	Herbazal	3.2.1. Herbazal
OVL	Otra vegetación leñosa	3.2.2. Arbustal
		3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
W	Humedales	4.1.1. Zonas pantanosas
		4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
G	Pastizales	2.3.1. Pastos limpios
		2.3.2. Pastos arbolados
		2.3.3. Pastos enmalezados
		2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos
		2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales
F	Tierras forestales	3.1.4. Bosque de mangle
		3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria
		3.1.5.2. Plantación de latifoliadas
		3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme
		3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
		3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable

Fuente: elaboración propia (2024).

Tabla 4. Homologación de la información geográfica de suelos a clases IPCC.

Clase de suelos IPCC	UCS	UCS_Fase	Taxonomía de suelos USDA
HAC Arcillas de alta actividad	LWD	LWDb2	Typic Haplusterts Typic Haplustepts Typic Ustorthents Lithic Ustorthents
		LWDC2	
		LWDD2	
	PVB	PVBa	Typic Fluvaquents
			Aquic Eutrudepts
			Typic Eutrudepts
	PVD	PVDa	Typic Udorthents
		PVDa1	Typic Dystrudepts
	PVE	PVEa1	Typic Dystrudepts
		PVEa2	Typic Eutrudepts
PVEb2			
PVH	PVHa	Typic Haplusterts Chromic Haplusterts	
PVJ	PVJd3	Typic Udorthents	
		Typic Dystrudepts	
RWA	RWAa	Typic Haplustolls Fluventic Haplustepts	
RWC	RWCa	Saladic Natrustalfs Typic Haplustepts	
LAC Arcillas de baja actividad	RWE	RWEa	Typic Plinthustults Chromic Haplusterts Vertic Haplustepts
		RWEa3	
		RWEb	
		RWEb2	
AR Arenales	LWE	LWEa2	Typic Haplustepts Typic Ustorthents Lithic Ustorthents
		LWEb2	
	LWF	LWFa	Typic Haplustepts Typic Haplustults Typic Ustifluvents Vertic Haplustepts Typic Ustorthents
		LWFC	
		LWFC2	
	PWF	PWFa	Typic Ustipsamments
		PWFa1	Aquic Usti_uvents
		PWFa2	
PWFb2			
PWH	PWHa	Typic Ustipsamments	
RVA	RVAa	Typic Udipsamments	
HM Humedales	RWK	RWKai	Typic Endoaquerts Chromic Endoaquerts
	LVF	LVFb	Typic Ustorthents
	RWD	RWDaz	Typic Endoaquerts
OM Otros suelos Minerales	PVC	PVCb2	Oxic Dystrudepts
			Typic Udifuvents
			Typic Udipsamments
	RVB	RVBa	Aquic Udifuvents
			Typic Epiquents
	LVC	LVCd2	Typic Dystrudepts
		LVCe3	Lithic Udorthents
	LWC	LWCb2	Typic Haplustepts
		LWCC	Typic Haplusterts
		LWCd1	Typic Ustorthents
		LWCE1	
	MVC	MVCf2	Lithic Humudepts
Typic Hapludolls			
PVA	PVAap	Typic Udorthents	
	PVAbp		
RWJ	RWJa	Chromic Haplusterts, Typic Haplusterts	

Fuente: elaboración propia (2024).

Dado que el objetivo de la propuesta de Protocolo es la estimación del carbono en los compartimientos de biomasa, materia orgánica muerta (MOM) y suelos, se utiliza la metodología propuesta por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, 2010), en la cual se estima el número de parcelas de muestreo necesarias con base en la precisión que se defina para el muestreo y la variabilidad de las existencias de carbono. En esta metodología, la variabilidad se expresa como la desviación estándar de las existencias de carbono en el estrato. El valor aproximado en el momento de la estimación se conoce a partir de los datos existentes aplicables al área del proyecto o relacionados con un área similar, o se estima sobre la base de una muestra preliminar o de un juicio experto.

ESTIMACIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE PARCELAS DE MUESTREO

Se procedió a realizar el cálculo del número de parcelas de muestreo mínimo requerido para asegurar una representatividad de la variabilidad en la ventana de validación mediante la Ecuación 1 (UNFCCC, 2010).

Ecuación 1. Estimación del número de parcelas para el muestreo.

$$n = \left(\frac{t}{\varepsilon}\right)^2 \times \left(\sum_i W_i \times S_i\right)^2$$

Donde:

n : número de parcelas de muestreo necesarias para la estimación de existencias de carbono dentro de los límites del proyecto; sin dimensiones.

t : valor t de Student bilateral en infinitos grados de libertad para el nivel de confianza requerido; sin dimensiones.

ε : margen de error aceptable en la estimación de las existencias de carbono dentro de los límites del proyecto; t d.m. (o t d.m. ha⁻¹) unidades utilizadas para

S_i : estimado con datos del promedio de reserva de carbono en humedales $\times 0,1$ (10 % de precisión deseada).

W_i : peso relativo del área del estrato i (es decir, el área del estrato i dividida por el área del proyecto); sin dimensiones.

S_i : desviación estándar estimada del *stock* de carbono en el estrato i ; t d.m. (o t d.m. ha⁻¹).

i : 1, 2, 3, ... estratos de estimación de existencias de carbono dentro de los límites del proyecto.

Para el cálculo de la Ecuación 1 se utilizaron los datos de las estimaciones de contenidos de carbono de la biomasa aérea y en el suelo del proyecto GEF

Magdalena-Cauca Vive, tomados en octubre de 2021, y en áreas del Mosaico de Conservación de Barbacoas, con énfasis en el DRMI Ciénaga de Barbacoas. Con estos datos se obtuvo el promedio de la reserva de carbono total y su respectiva desviación estándar S_i . Con base en esta información, se encontró que el tamaño adecuado de muestra es de mínimo 19 unidades para el CCZ.

SELECCIÓN EN CAMPO DE LAS ZONAS DE MUESTREO

Con el objetivo de remover los posibles sesgos sistemáticos que se puedan presentar, se seleccionan las unidades muestrales de acuerdo con el procedimiento de estratificación, aleatorización y verificación (Figura 3). De esta forma, se escogieron los dos primeros polígonos para cada estrato con el objetivo de evaluar el acceso en campo, tomando en cuenta la estacionalidad del CCZ tanto en temporada seca como en temporada de lluvias.

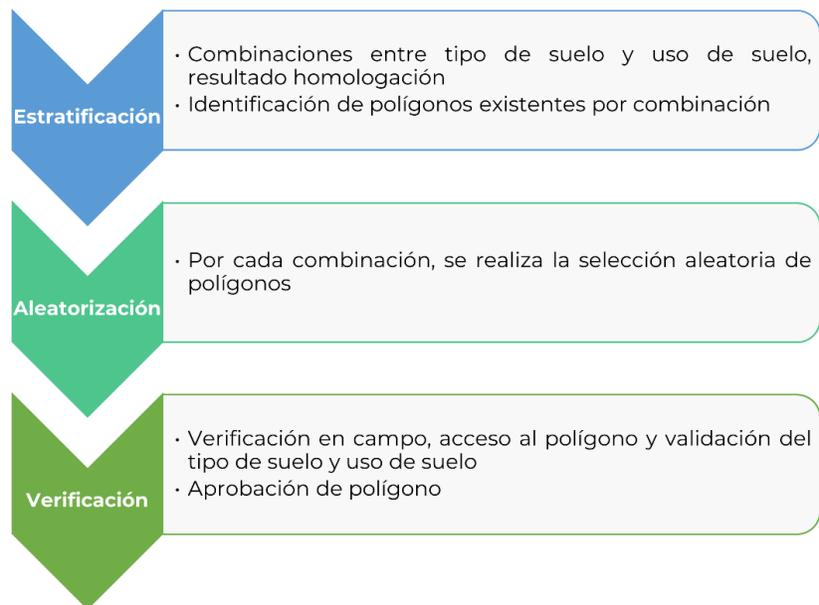


Figura 3. Selección de zonas de muestreo para los compartimientos de biomasa, MOM y suelos. Fuente: elaboración propia (2024).

Para el proceso de validación de puntos en campo se sugiere el uso de herramientas como la aplicación Avenza Maps®, que permite el empleo de dispositivos móviles para ubicar los puntos de muestreo sin Internet ni conexiones de red. Esta aplicación utiliza el GPS incorporado al dispositivo para determinar la ubicación con el uso de cualquier mapa, incluso en los lugares más remotos. Adicionalmente, permite el registro fotográfico y el registro de observaciones.

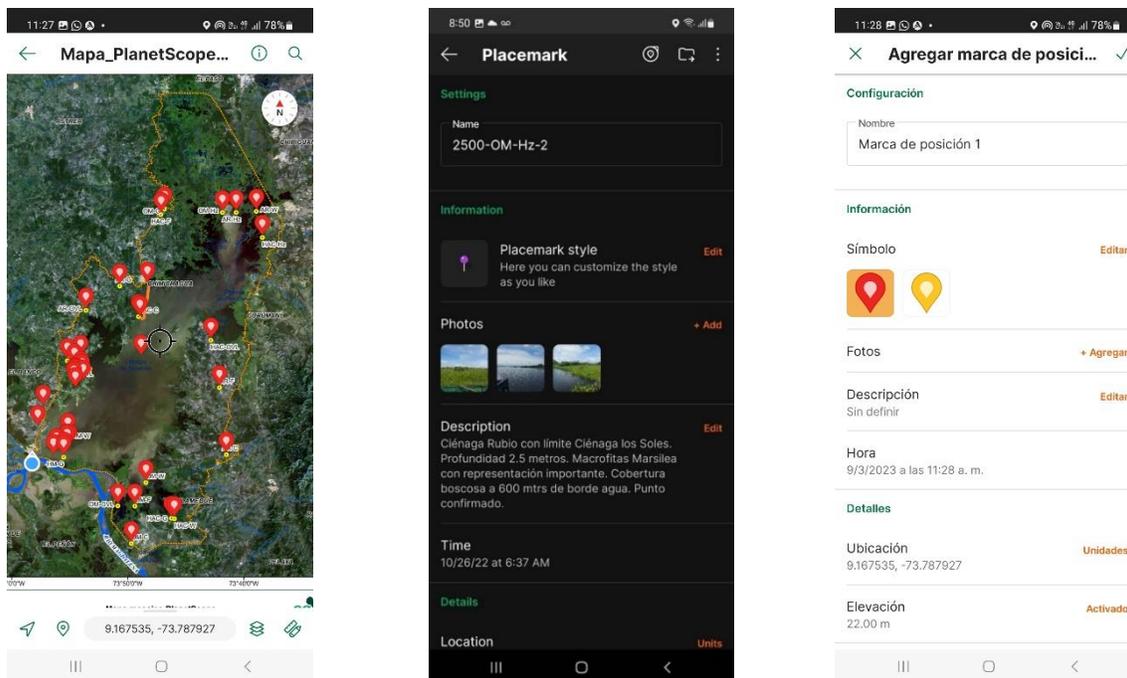


Figura 4. Mapa con selección de puntos en la aplicación Avenza Maps®. Fuente: elaboración propia (2024).

REPRESENTATIVIDAD

A partir del proceso de homologación de la información cartográfica y la generación de los estratos se analizó la representatividad de los ecosistemas en el muestreo definido. Para la asignación de unidades muestrales dentro de la ventana de validación del CCZ se evaluaron dos formas diferentes: la asignación porcentual y la asignación óptima.

En el caso de la asignación porcentual, estarían representadas solo 14 combinaciones entre Tipo de suelo y Uso de suelo; mientras que en la asignación de forma óptima, se verían representadas 24 combinaciones encontradas en la ventana de validación. Dado que el objetivo de la propuesta de Protocolo es establecer una línea base de contenidos de carbono en los diferentes ecosistemas identificados, se decidió proceder con la asignación de una parcela para cada estrato encontrado en el CCZ.

Tabla 5. Representatividad de zonas de muestreo.

ID	ZM	Tipo suelo-Uso suelo	Número de polígonos	Área del estrato	Área %	Asignación porcentual	Asignación óptima
1	HAC - G	Arcillas de alta actividad – Pastizales	605	37 597,76	22,44	4	1
2	AR - G	Arenales-Pastizales	544	27 663,89	16,51	3	1

ID	ZM	Tipo suelo-Uso suelo	Número de polígonos	Área del estrato	Área %	Asignación porcentual	Asignación óptima
3	AR - W	Arenales-Humedales	189	15 100,81	9,01	2	1
4	OM - G	Otros suelos minerales - Pastizales	246	10 101,56	6,03	1	1
5	HAC - OVL	Arcillas de alta actividad - Otra vegetación leñosa	209	9 164,59	5,47	1	1
6	HM - G	Humedales-Pastizales	155	8 629,18	5,15	1	1
7	OM - W	Otros suelos minerales - Humedales	101	8 539,87	5,10	1	1
8	AR - OVL	Arenales-Otra vegetación leñosa	187	8 239,03	4,92	1	1
9	HM - W	Humedales-Humedales	73	7 373,84	4,40	1	1
10	AR - C	Arenales-Tierras de cultivo	133	5 365,77	3,20	1	1
11	HAC - C	Arcillas de alta actividad - Tierras de cultivo	133	5 190,60	3,10	1	1
12	OM - OVL	Otros suelos minerales - Otra vegetación leñosa	72	4 349,85	2,60	1	1
13	HM - C	Humedales-Tierras de cultivo	59	4 176,36	2,49	1	1
14	AR - F	Arenales-Tierras forestales	66	3 715,94	2,22	1	1
15	HAC - F	Arcillas de alta actividad - Tierras forestales	88	3 053,69	1,82	0	1
16	OM - C	Otros suelos minerales - Tierras de cultivo	60	2 450,01	1,46	0	1
17	HAC - W	Arcillas de alta actividad - Humedales	87	2 236,53	1,34	0	1
18	HM - OVL	Humedales-Otra vegetación leñosa	52	1 587,78	0,95	0	1
19	OM - F	Otros suelos minerales - Tierras forestales	32	1 145,62	0,68	0	1
20	HM - F	Humedales-Tierras forestales	25	623,30	0,37	0	1
21	AR - Hz	Arenales-Herbazales	14	623,16	0,37	0	1
22	OM - Hz	Otros suelos minerales - Herbazales	4	566,95	0,34	0	1
23	HAC - Hz	Arcillas de alta actividad - Herbazales	2	33,36	0,02	0	1
24	LAC - G	Arcillas de baja actividad - Pastizales	1	0,86	0,00	0	1

Fuente: elaboración propia (2024).

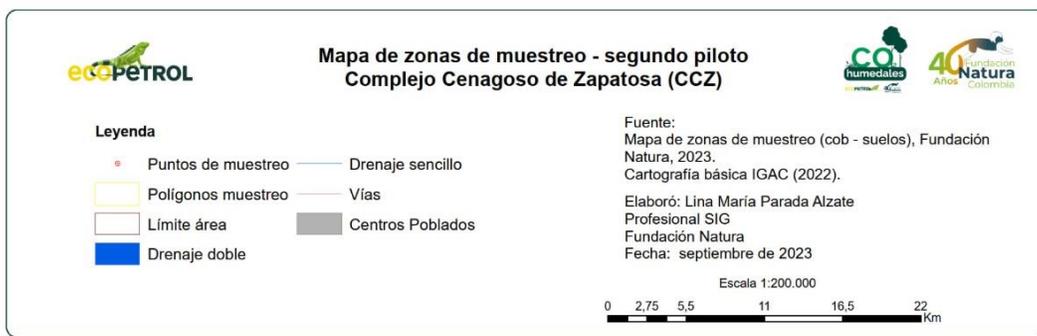
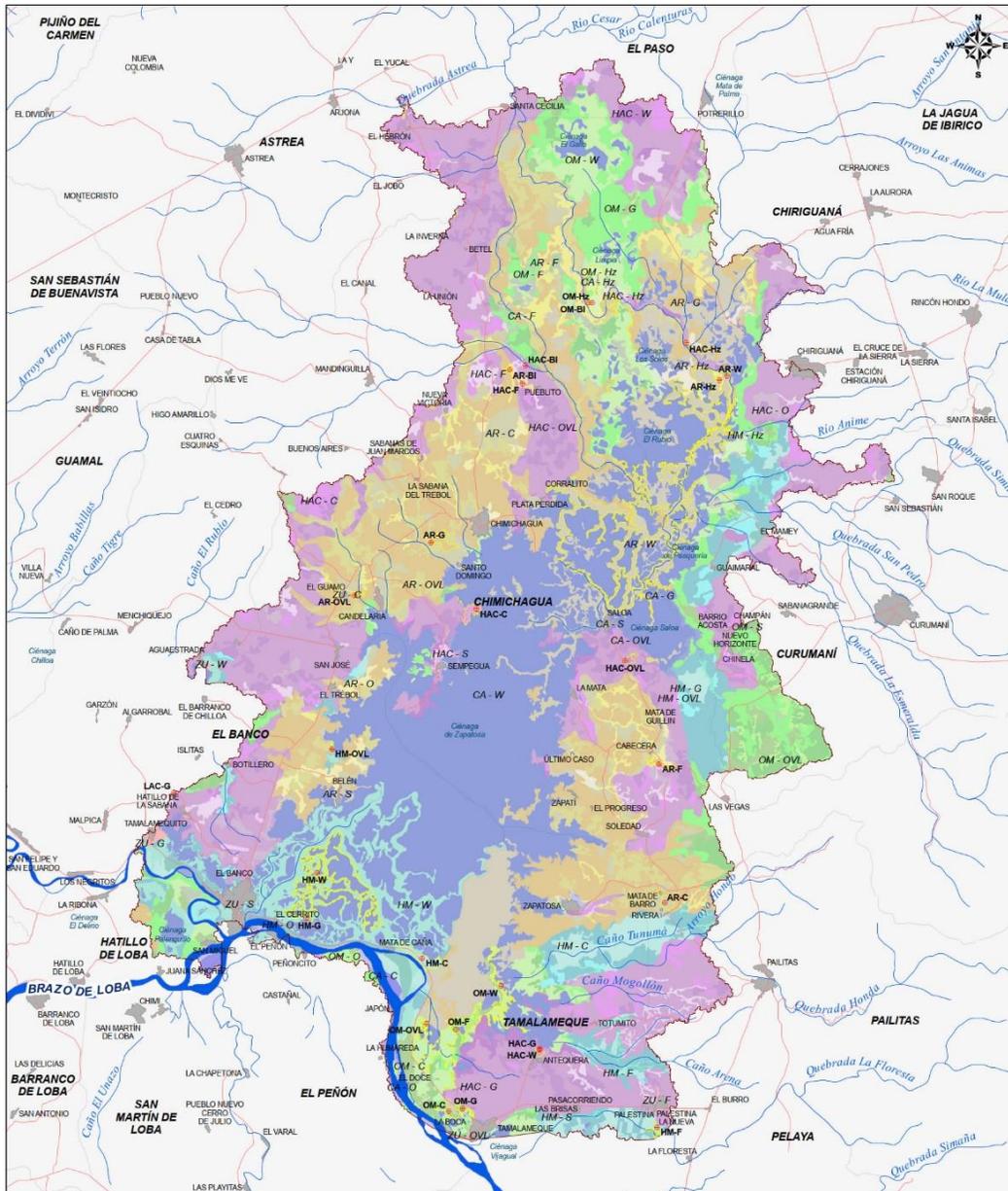


Figura 5. Zonas de muestreo seleccionadas en el Complejo Cenagoso de Zapatos. Fuente: elaboración propia (2024).

DISEÑO ESTADÍSTICO COMPARTIMIENTO DE BIODIVERSIDAD

ESTIMACIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE PARCELAS DE MUESTREO

Hidrobiota

Se procedió a realizar el cálculo del número de sectores de muestreo mínimo requerido para asegurar una representatividad de la variabilidad en la cobertura Cuerpo de Agua. Para eso, se usaron los datos de riqueza del proyecto GEF Magdalena-Cauca Vive, reportados en el Componente 3, relacionados con los grupos biológicos fitoplancton (12 sitios de muestreo) y peces (11 sitios), y que fueron tomados en julio de 2021.

Con el uso de un muestreo aleatorio se realizó el cálculo del número de sectores de muestreo mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 2. Cálculo de sectores de muestreo.

$$n = \left(\frac{t \times s}{E} \right)^2$$

Donde:

t : 95 % confianza: 1,96

s : desviación estándar de datos previos

E : error admisible, estimado con datos de promedio de riqueza \times 0,1 (10 % de precisión deseada).

Con estos datos se obtuvo el promedio de riqueza y su respectiva desviación estándar (s). Se estableció un $n = 11$ puntos de muestreo para la estimación de biodiversidad en toda la cuenca. También se realizó la distribución de unidades muestrales tomando en cuenta la importancia relativa del humedal frente a todos los humedales de la cuenca, para un total de $n = 7$ puntos de muestreo. De esta manera, en la cobertura Cuerpo de Agua se perfilaron los sectores de muestreo mediante juicio experto (Figura 7) y se establecieron 7 sectores (polígonos con color).

Fauna terrestre

Con base en la selección de las zonas de muestreo realizada para los compartimientos de biomasa y suelos (Figura 6), se seleccionaron de forma aleatoria tres polígonos para cada cobertura homologada al IPCC (vegetación de tipo leñosa, tierras forestales, pastizales, áreas de cultivo, herbazales), y se

consideró una cobertura adicional correspondiente a las áreas del espejo de agua y playones.

En cada polígono se establecieron transectos de observación para el monitoreo de los grupos biológicos de aves, herpetos y mamíferos (Figura 7) (ver puntos de color).

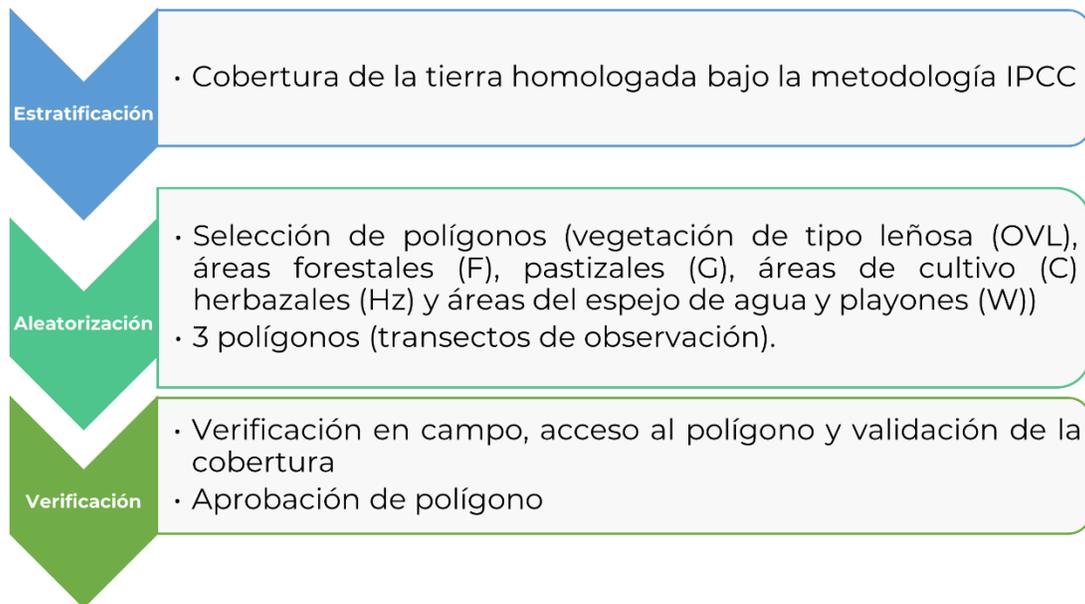


Figura 6. Selección de sectores de muestreo del compartimiento de biodiversidad para la fauna terrestre. Fuente: elaboración propia (2024).

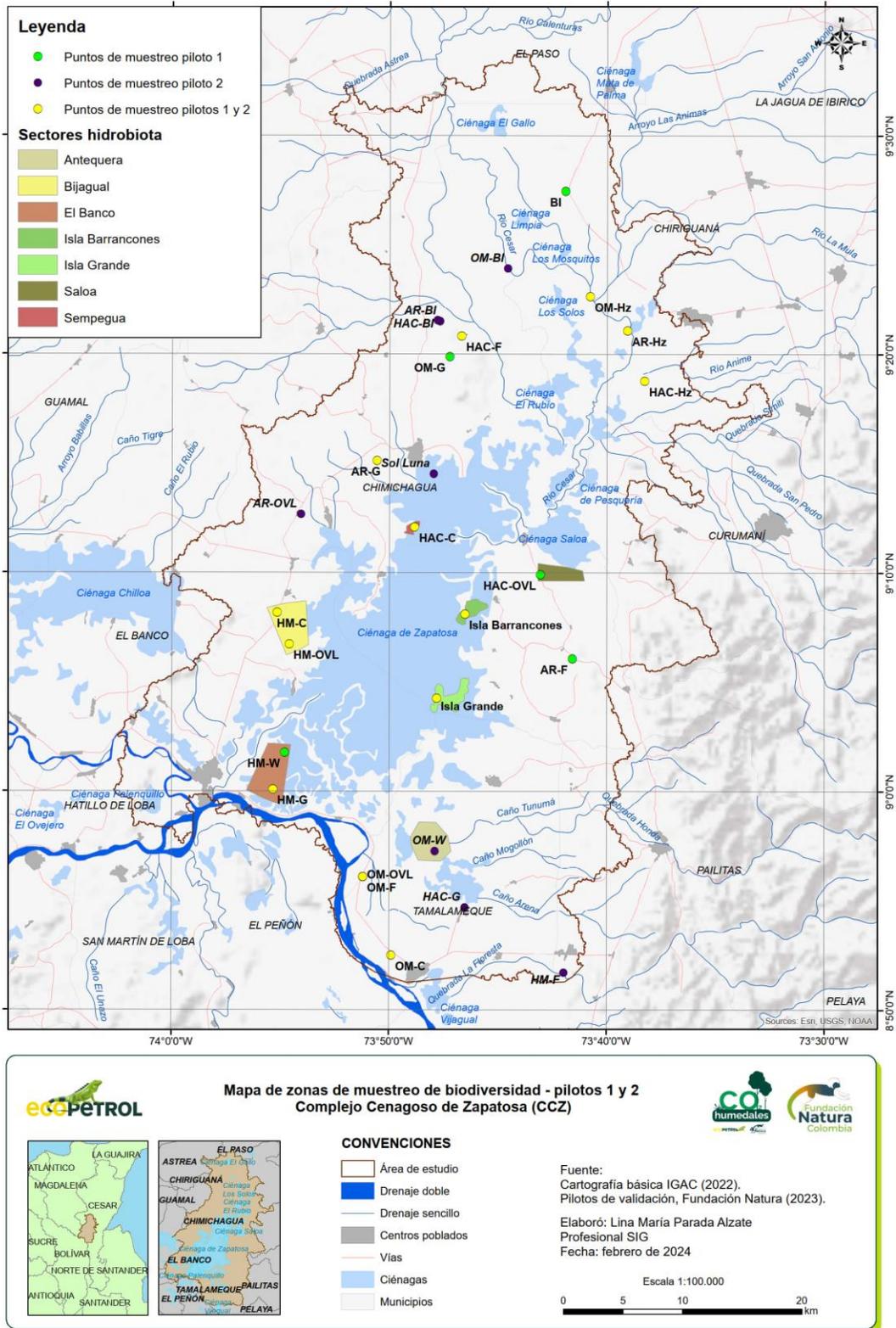


Figura 7. Puntos y sectores de muestreo seleccionados para el compartimiento de biodiversidad en el Complejo Cenagoso de Zapato. Fuente: elaboración propia (2024).

ETAPA DE MUESTREO

METODOLOGÍA PARA CONTROL DE CALIDAD Y VERIFICACIÓN DE DATOS

En la propuesta de Protocolo se implementaron procedimientos generales (IPCC, 2006) como parte del sistema de control de calidad de los datos (Figura 8) mediante las siguientes actividades:

- ✦ Controlar la existencia de errores de transcripción en las entradas de datos y referencias.
- ✦ Verificar que se registren correctamente los parámetros y las unidades y que se utilicen los factores de conversión adecuados.
- ✦ Comprobar la integridad de los archivos de la base de datos.

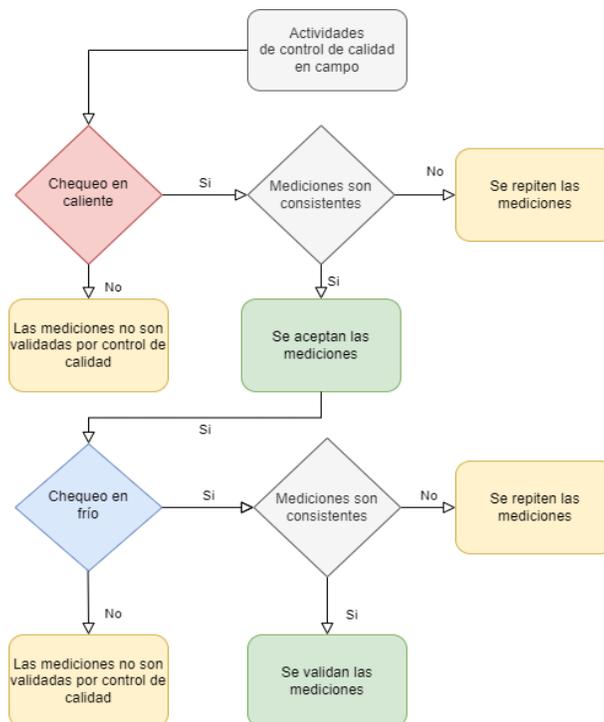


Figura 8. Actividades de control de calidad de datos en campo. Elaboración propia (2024).

Durante las labores de campo se realizaron actividades de control de calidad de la información colectada en dos momentos diferentes (Figura 8), denominados chequeo en caliente y chequeo en frío. Con este fin, se definieron

parámetros para la validación de la calidad de los datos a partir de la metodología del Inventario Forestal Nacional (IFN; Olarte et ál. 2021):

- ✦ Chequeo en caliente: se realiza al mismo tiempo que la actividad de campo; se aplica en el 2 % de todas las parcelas.
- ✦ Chequeo en frío: se realiza una vez terminada la jornada; se aplica en el 2 % de todas las parcelas.
- ✦ Al menos 1 parcela por equipo; al menos 1 parcela por compartimiento.



Figura 9. Actividades de control de calidad de datos en la etapa de muestreo. Fuente: elaboración propia (2024).

De manera complementaria, se realizaron otras actividades para asegurar el control de calidad de los datos: (i) el acompañamiento constante por parte del profesional estadístico para asegurar la independencia y la trazabilidad de los datos (Figura 9); (ii) durante el del establecimiento de las parcelas se verificó que el punto correspondiera a la zona de muestreo adecuada; y (iii) en el compartimiento de biodiversidad se hizo un control del uso correcto de los formatos de campo (Tabla 6), así como del uso de los equipos necesarios para la medición y la toma de los datos.

Tabla 6. Listado de formatos generados para la propuesta de Protocolo.

ID	Código repositorio	Proceso	Categoría formato	Código formato FN	Compartimiento
1	RC-1211	Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo	Registro de datos de campo	FO-GP-30	Biomasa aérea arbórea (BARA) Estrato arbóreo (Ar) y arbustivo (ar)
2	RC-1212	Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo	Registro de datos de campo	FO-GP-31	Biomasa aérea no arbórea (BARA) Arbustiva
3	RC-1214	Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo	Registro de datos de campo	FO-GP-32	Biomasa subterránea no arbórea (BNAS) Acuática
	RC-1221	Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo	Registro de datos de campo	FO-GP-33	Materia orgánica muerta terrestre
4	RC-1222	Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo	Registro de datos de campo	FO-GP-34	Materia orgánica muerta acuática
5	RC-1230	Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo	Registro de datos de campo	FO-GP-35	Suelos
6	RC-1240	Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo	Registro de datos de campo	FO-GP-36	Sedimentos
7	RC-1240	Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo	Entrega de muestras	FO-GP-29	Suelos y sedimentos

ID	Código repositorio	Proceso	Categoría formato	Código formato FN	Compartimiento
8	RC-1253	Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo	Registro variables físicas y químicas - hidrobiológico	FO-GP-38	Biodiversidad
9	RC-1253	Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo	Perfiles fisicoquímicos, muestreo hidrobiológico	FO-GP-39	Biodiversidad
10	RC-1251	Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo	Registro de datos para estimar producción primaria	FO-GP-40	Biodiversidad
11	RC-12515	Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo	Registro de macrófitas acuáticas	FO-GP-41	Biodiversidad
12	EM-1251	Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo	Envío o entrega de muestras de hidrobiota	FO-GP-42	Biodiversidad
13	RC-12516	Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo	Registro de datos para talla y peso de la ictiofauna	FO-GP-86	Biodiversidad
14	RC-12421	Propuesta de Protocolo para la estimación integral de contenidos de carbono y biodiversidad en humedales del Magdalena Medio y Bajo	Registro de datos de biología reproductiva de especies de peces - MCPPe	FO-GP-43	Biodiversidad

Fuente: elaboración propia (2024).

ETAPA DE ANÁLISIS

ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS DE LA PROPUESTA DE PROTOCOLO

Con la información generada con la propuesta de Protocolo, se obtuvo como resultado una base de datos relacional que se alimentó de las siguientes fuentes:

- ✦ Información secundaria, que corresponde a los datos extraídos de la búsqueda de publicaciones (artículos científicos, libros, reportes de proyectos, etc.) y que aportan información de métodos y estimaciones de

carbono en humedales a nivel nacional e internacional para los compartimientos de carbono identificados en el proyecto.

- † La información generada en el piloto de validación de la propuesta de Protocolo en la ventana del CCZ realizado en las dos temporadas hidroclimáticas del año 2023.

La base de datos está organizada en cuatro grandes componentes o compartimientos: Biomasa y MOM, Suelos y sedimentos, Biodiversidad y, por último, Información SIG. Cada uno de estos componentes está conformado por una estructura de tablas relacionadas entre sí (Figura 10), que almacena la información de los datos tomados en campo y la información secundaria recopilada por cada experto temático.

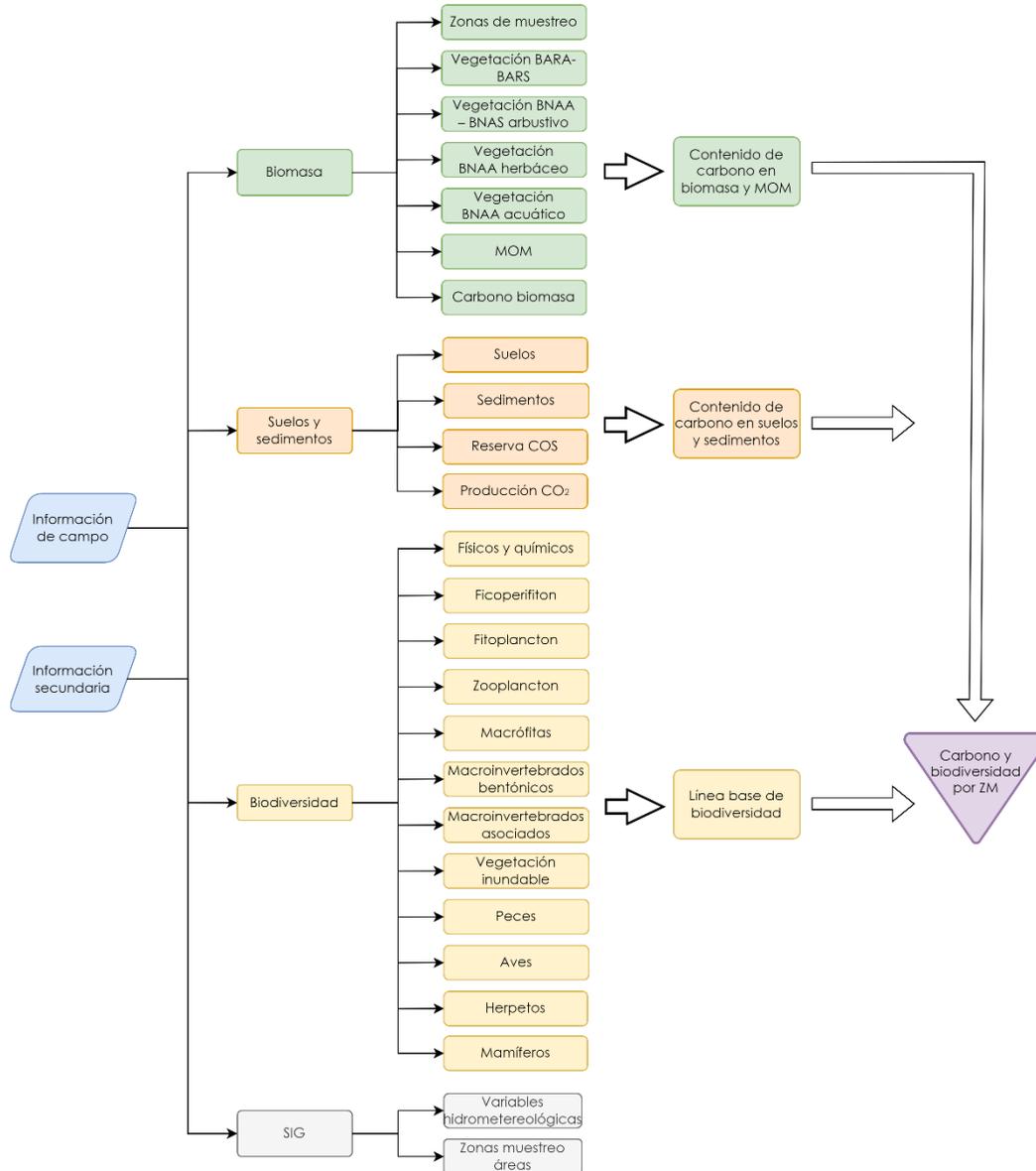


Figura 10. Estructura de la base de datos de la propuesta de Protocolo. Fuente: elaboración propia (2024).

PASOS PARA EL PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO

De acuerdo con los lineamientos del proceso estadístico (DANE 2020), en la fase de análisis se examina la consistencia y la coherencia de la información consolidada y se generan los productos definidos en el diseño. Para analizar datos, los pasos generales que se aplicaron en la propuesta de Protocolo fueron los siguientes:

- Colecta de datos: fase de recopilación de información sobre las variables de interés, de acuerdo con el muestreo, lo que permite responder las preguntas de investigación planteadas en el diseño de la investigación.
- Limpieza de datos: implica garantizar que los datos sean precisos, completos y consistentes. Con este propósito se identifica y elimina cualquier dato duplicado, faltante o irrelevante, y se asegura que los datos tengan el formato correcto.
- Análisis exploratorio de datos (EDA): se utilizan técnicas estadísticas y de visualización para obtener información sobre los datos. Se calculan estadísticas de resumen, histogramas, diagramas de dispersión, diagramas de caja y otros gráficos para identificar patrones, tendencias y relaciones entre ellos.
- Prueba de hipótesis: con una mejor comprensión de los datos, se formulan hipótesis y se prueban mediante métodos estadísticos. Esto implica identificar la prueba estadística adecuada, calcular las estadísticas de la prueba e interpretar los resultados.
- Interpretación: se infieren conclusiones de los datos y se comunican los hallazgos. Se resumen los resultados, se interpreta la importancia estadística y se discuten las implicaciones prácticas de estos.

Los pasos anteriores son iterativos y algunos de ellos deben revisarse a medida que se obtiene más información sobre los datos. Además, el análisis de estos puede ser un proceso complejo que requiere habilidades y conocimientos especializados, por lo que los resultados deben ser discutidos con los expertos temáticos para validar las conclusiones obtenidas.

SELECCIÓN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Desde el inicio del proceso del análisis de datos se debe considerar la pregunta de investigación que se está tratando de responder y el tipo de variable a utilizar, que puede ser numérica o categórica. A continuación, se detallan los pasos a seguir para la selección del análisis estadístico adecuado:

- Determinar el tipo de datos: categorizar los datos como continuos o categóricos. Los datos continuos se refieren a aquellos que pueden tomar cualquier valor dentro de un rango (p. ej., altura, peso, edad); mientras que los datos categóricos se refieren a los que pertenecen a distintas categorías (p. ej., sexo, raza, respuestas de sí/no).

- + Considerar el diseño del estudio: definir si el diseño del estudio es experimental u observacional. Los estudios experimentales implican manipular una o más variables para determinar su efecto sobre un resultado, mientras que los estudios observacionales no involucran la manipulación de variables, sino que observan y miden las variables tal y como ocurren naturalmente.
- + Verificar los supuestos: antes de seleccionar un análisis estadístico, es importante verificar los supuestos subyacentes a los datos, como la normalidad, la homogeneidad de la varianza y la independencia.
- + Seleccionar el análisis apropiado: una vez que se haya identificado la pregunta de investigación, el tipo de datos, el diseño del estudio y las suposiciones verificadas, se puede escoger el análisis estadístico apropiado. Algunos análisis estadísticos comunes incluyen pruebas t, análisis de varianza, análisis de regresión, pruebas de chi-cuadrado y análisis de correlación. Para proceder con la selección se sugiere seguir el esquema de decisión (Figura 11).

Adicional a lo anterior, se pueden aplicar técnicas de análisis multivariado, que permiten el análisis de conjuntos de datos con observaciones sobre múltiples variables simultáneamente. Estas técnicas multivariadas se utilizan para identificar patrones, relaciones y dependencias entre las variables y, de esta forma, obtener información sobre la estructura subyacente de los datos.

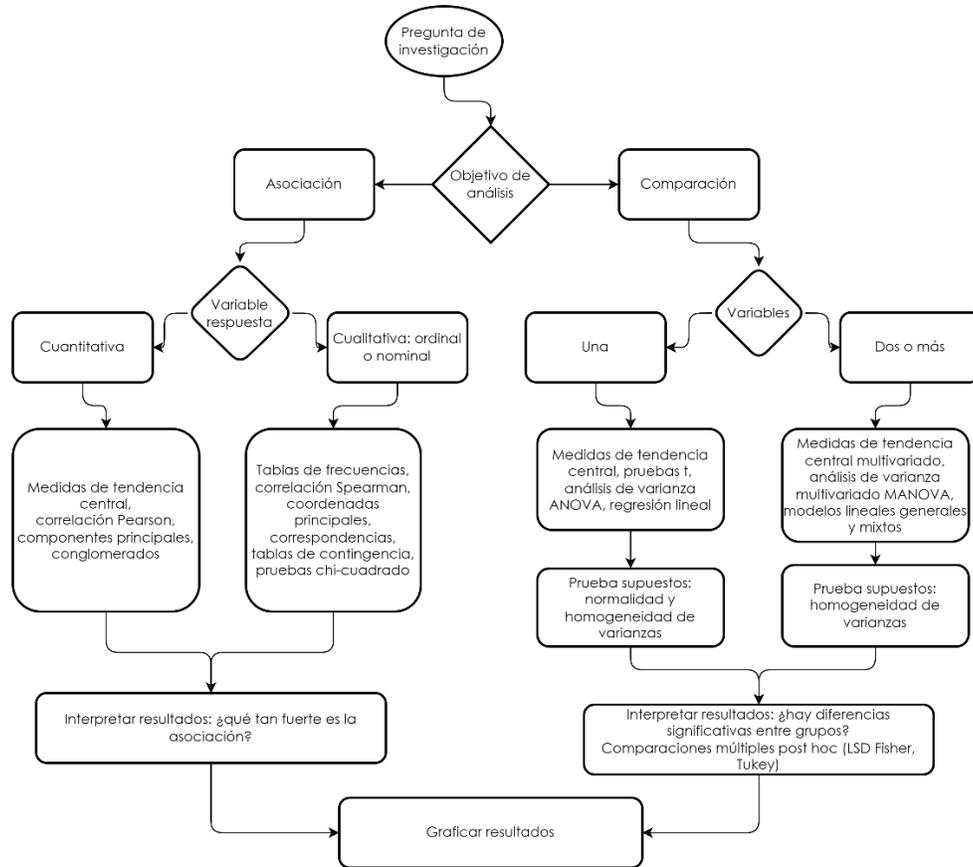


Figura 11. Esquema de decisión para análisis estadístico de datos. Fuente: elaboración propia (2024).

Se recomienda el uso de representaciones gráficas en el análisis de datos, ya que esto permite comprender, interpretar y comunicar mejor los resultados. Al presentar los datos de una manera clara y visual, se puede obtener información que puede no ser evidente y hacer que los hallazgos sean accesibles a una audiencia más amplia. De acuerdo con el objetivo del gráfico, se puede seleccionar el más adecuado (Figura 12).



Figura 12. Elección de gráficos según el objetivo. Fuente: elaboración propia (2024).

CONCLUSIONES

- ✦ Tener en cuenta los lineamientos del proceso estadístico desde la etapa de muestreo hizo posible que la información generada durante el proceso de validación de la propuesta de Protocolo, en la ventana de validación del CCZ, fuera robusta y tuviera un soporte estadístico, lo que permitió la replicabilidad de los resultados en el área evaluada.
- ✦ Con la creación de la base de datos, producto de la información generada durante el proceso de muestreo, se administran de una forma eficiente los datos colectados y los resultados obtenidos en los diferentes compartimientos.

RECOMENDACIONES

- ✦ Se sugiere seguir los lineamientos del proceso estadístico para generar estadísticas robustas y con criterios de calidad.
- ✦ En la etapa de muestreo se recomienda revisar los lineamientos del ente rector para que la información generada esté enmarcada dentro de los requerimientos determinados por dicho ente.
- ✦ En la etapa de muestreo se recomienda validar el estrato definido para las zonas de muestreo en campo y asegurar que las mediciones sean tomadas dentro de la zona de muestreo seleccionada para el monitoreo.
- ✦ En la etapa de muestreo se aconseja tener comunicación constante entre el equipo de campo y el apoyo estadístico para solucionar las dudas frecuentes, principalmente con el objetivo de que se cumpla el principio

de aleatorización y, de esa forma, evitar sesgos sistemáticos en la toma de los datos.

- † En la etapa de muestreo se sugiere seguir las recomendaciones de control de calidad y verificación en campo como una forma de asegurar la objetividad en la toma de la información.
- † En la etapa de análisis se recomienda mantener la trazabilidad de los datos colectados en campo, mediante el registro en bases de datos y la inclusión de un identificador único. Así, en caso de presentarse inconsistencias, se pueden validar los datos y detectar errores al momento de digitación de la información.
- † En la etapa de análisis se sugiere seleccionar, acorde con el objetivo del análisis, los métodos y gráficos más adecuados para divulgar los resultados a diferentes audiencias.

BIBLIOGRAFÍA

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2022). *Código nacional de buenas prácticas del Sistema Estadístico Nacional*. <https://www.sen.gov.co/sites/default/files/migracion-files/BuenasPracticas/Codigo-Nacional-de-Buenas-Practicas-2022.pdf>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2020). *Lineamientos para el proceso estadístico en el Sistema Estadístico Nacional*. <https://www.dane.gov.co/index.php/sistema-estadistico-nacional-sen/normas-y-estandares/lineamientos>

Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. y Tanabe, K. (Eds). (2006). 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Intergovernmental Panel of Climate Change. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_0_Cover.pdf

Olarte Villanueva, C. P., Merchán López, O. F, Linares Prieto, R., Quintero Cardozo, F., León Cruz, R., Rodríguez León, A. y Montealegre, J. O. (2021). *Marco rector para la implementación del Inventario Forestal Nacional*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. https://visionamazonia.minambiente.gov.co/content/uploads/2023/04/Marco_Rector_IFN_Colombia_compressed.pdf

United Nations Framework Convention on Climate Change. (2010). *Calculation of the number of sample plots for measurements within A/R CDM project activities.*
https://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-03-v2.1.0.pdf/history_view