



**MACROPROCESO DE APOYO
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

**CÓDIGO: AAAr113
VERSIÓN: 3
VIGENCIA: 2017-11-16
PAGINA: 1 de 7**

26.

FECHA miércoles, 6 de junio de 2018

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
BIBLIOTECA
Ciudad

UNIDAD REGIONAL	Extensión Facatativá
TIPO DE DOCUMENTO	Trabajo De Grado
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
ROA MORENO	DIANA ROCIO	1.073.513.812
TRIANA VALDERRAMA	ADRIANA MILENA	1.070.950.308

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 2 de 8

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
CASAS CORTES	PAULA ANDREA

TÍTULO DEL DOCUMENTO
DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA FRAGMENTACIÓN DE HÁBITAT SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LOS HUMEDALES EL MANANTIAL, LAS TINGUAS Y LAS PIEDRAS DEL TUNJO DEL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ, CUNDINAMARCA Y SU VALORACIÓN ECONÓMICA

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
INGENIERO AMBIENTAL

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
06/06/2018	159

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1. Fragmentación	Fragmentation
2. Humedal	Wetland
3. Preservación	Preservation
4. Regulación	Regulation
5. Servicios Ecosistémicos	Ecosystem services
6. Valoración económica	Economic valuation

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 3 de 7

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

La presente investigación busca determinar la valoración y comparación de cuatro servicios ambientales presentes en los humedales, El Manantial, Las Tinguas y Las Piedras del Tunjo del municipio de Facatativá. Para la operacionalización de las variables de los servicios ecosistémicos se realizará el análisis del estado de fragmentación de cada humedal. Seguido de esto se realizará la medición de la calidad del agua de los humedales, mediante los procedimientos establecidos por el IDEAM y el Standard Methods. En cuanto a la cuantificación del servicio de recarga de acuíferos se empleará el método del infiltrómetro de doble anillo, para el de retención de nutrientes se determinará la presencia de nitrógeno por espectrofotometría uv y de fósforo mediante el método del ácido ascórbico, la retención de sedimentos se obtendrá a través de la medición de los sólidos totales secándolos a 103 – 105 °C y los sólidos sedimentables mediante cono Imhoff. Finalmente, la captura de carbono de la vegetación se hará a través del método de Walkley y Black. Luego de obtener los resultados mediante estas metodologías se evaluarán monetariamente a través de la valoración contingente. Con lo anterior se busca aportar información a entidades públicas y privadas para la gestión ambiental y toma de decisiones, e incluyan dentro de sus políticas a los humedales como parte importante para el bienestar de la comunidad, el aporte al cambio climático y la disminución de los costos generados frente a solución de problemáticas ambientales.

The present investigation seeks to determine the evaluation and comparison of four environmental services present in the wetlands, The Manantial, The Tinguas and The Piedras del Tunjo in the municipality of Facatativá. For the operationalization of the variables of the ecosystem services. Following this, the water quality of the wetlands was measured using the procedures established by the IDEAM and the Standard Methods. Regarding the quantification of the aquifer recharge service, the double-ring filter method will be used. For nutrient retention, the presence of nitrogen will be determined by UV and phosphorus spectrophotometry using the ascorbic acid method, sediment retention at through the measurement of total solids at 103 - 105 °C and the settleable solids by Imhoff cone. Finally, the carbon capture of the vegetation is done through the Walkley and Black method. After obtaining the results by these methodologies, it was evaluated monetarily through the contingent valuation. With the above, it seeks to provide information for public and private entities for environmental management and decision making, and includes within its policies to wetlands as an important part for the welfare of the community, the report on climate change and the decrease of the costs generated in the face of solving environmental problems.



AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son:
Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)		SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X		
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X		
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X		
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	X		

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos)



el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

SI ___ NO X.

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:



**MACROPROCESO DE APOYO
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

**CÓDIGO: AAAr113
VERSIÓN: 3
VIGENCIA: 2017-11-16
PAGINA: 6 de 7**

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).
- b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.
- c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.
- e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"
- i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Determinación de los efectos de la fragmentación de hábitat sobre los servicios ecosistémicos en los humedales el manantial, las Tinguas y las piedras del tunjo del municipio de Facatativá, Cundinamarca y su valoración económica.pdf	Texto

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

12.1.50



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Determinación de los efectos de la fragmentación de hábitat sobre los servicios ecosistémicos en los humedales el manantial, las Tinguas y las piedras del tunjo del municipio de Facatativá, Cundinamarca y su valoración económica.pdf	Texto

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
ROA MORENO DIANA ROCIO	<i>Diana Rocio Roa Moreno</i>
TRIANA VALDERRAMA ADRIANA MILENA	<i>Adriana Milena Triana</i>

12.1.50

**DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA FRAGMENTACIÓN DE HÁBITAT
SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LOS HUMEDALES EL
MANANTIAL, LAS TINGUAS Y LAS PIEDRAS DEL TUNJO DEL MUNICIPIO DE
FACATATIVÁ, CUNDINAMARCA Y SU VALORACIÓN ECONÓMICA**

**DIANA ROCIO ROA MORENO
ADRIANA MILENA TRIANA VALDERRAMA**



**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
FACATATIVÁ**

2018

**DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA FRAGMENTACIÓN DE HÁBITAT
SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LOS HUMEDALES EL
MANANTIAL, LAS TINGUAS Y LAS PIEDRAS DEL TUNJO DEL MUNICIPIO DE
FACATATIVÁ, CUNDINAMARCA Y SU VALORACIÓN ECONÓMICA.**

**DIANA ROCIO ROA MORENO
ADRIANA MILENA TRIANA VALDERRAMA**

**TRABAJO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERA AMBIENTAL**

**DIRECTOR: PAULA ANDREA CASAS CORTES
MSC. CIENCIAS –BIOLOGÍA**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
FACATATIVÁ**

2018

Nota de aceptación.

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Facatativá, 03 de mayo de 2018

DEDICATORIA

A Dios..., por su presencia incondicional en nuestras vidas, por todo lo que hemos recibido en el pasado, por lo que nos das día a día y por todo lo que está por llegar.

Agradezco inmensamente a mi madre, a mi papá Fredy, a mi tía Lily y a mi abuelita, por la formación que me dieron, por enseñarme que la disciplina es parte del éxito, por acompañar esas largas noches de estudio y por ser mi mejor ejemplo.

A Johan por su apoyo incondicional.

Diana Roa.

A mis padres por su apoyo, dedicación y esfuerzo, a mi hija Isabela por ser mi gran apoyo en todo momento y por convertirse en la razón por la cual quiero lograr todas mis metas.

Adriana Triana.

“Vive como si fueras a morir mañana, aprende como si fueras a vivir para siempre.”

Mahatma Gandhi.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de nuestra carrera, por ser nuestra fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarnos una vida llena de aprendizajes, experiencia y sobre todo felicidad.

A nuestra directora Paula Andrea Casas por su acompañamiento, dedicación y experiencia, para guiarnos en el correcto desarrollo de nuestro proyecto.

Al profesor Guillermo Orjuela, le agradecemos la confianza, apoyo, dedicación de tiempo y haber compartido sus conocimientos, durante todo el proceso investigativo.

A los profesores Mauricio Mesa y Álvaro Bernal, por su colaboración y su acompañamiento en las diferentes etapas del proyecto.

A los Laboratoristas de la Universidad de Cundinamarca por facilitar los insumos y el acceso a los laboratorios de la universidad pertinentemente, así como su colaboración en los ensayos realizados.

A las secretarías de desarrollo económico y ambiental de Facatativá, en especial al Ingeniero Javier Zamora, por brindarnos sus conocimientos y sobre todo su amistad.

A la fundación ALMA, en especial a Jessica Rubio, por haber sido una guía y apoyo en el desarrollo metodológico de la investigación.

Agradecemos especialmente a los señores Jairo Cruz y Ricardo Ardila, por brindarnos su acompañamiento y confianza.

A nuestros familiares y amigos que siempre estuvieron al tanto de nuestros avances y nos brindaron su apoyo desinteresado.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
2. OBJETIVOS	21
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
3. JUSTIFICACIÓN	22
4. MARCO REFERENCIAL	24
4.1 Marco Teórico.....	24
4.2 Marco Conceptual.....	29
5. ENFOQUE METODOLÓGICO	30
6. METODOLOGÍA.....	30
6.1 Área de Estudio	31
6.1.1 Comparación de áreas mediante fotografías aéreas	31
6.1.2 Índice de fragmentación	33
6.2 Pruebas fisicoquímicas	33
6.2.1 Parámetros Físico-químicos.....	38
6.3 EVALUACIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES	40
6.3.1 RECARGA DE ACUÍFEROS	40
6.3.1.1 Medición de la infiltración en el suelo (método de doble anillo).....	40
Procedimiento.....	43
6.3.1.2 Propiedades físicas del suelo	45
6.3.1.2.1 Toma de muestras de suelo	45
6.3.1.2.1 Práctica contenido de humedad gravimétrico	47
6.3.1.2.2 Práctica estructura del suelo por método de granulometría	49
6.3.1.2.3 Práctica textura del suelo método del tacto	53
Procedimiento	53
6.3.1.2.4 Practica porosidad del suelo.....	55
6.3.1.2.5 Practica permeabilidad del suelo ex - situ	57
6.3.2 SERVICIO DE RETENCIÓN DE NUTRIENTES.....	59

6.3.3 SERVICIO DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS	60
6.3.3.1 Prueba de sólidos sedimentados por medio del cono imhoff.....	60
6.3.3.2 Prueba sólidos totales secados a 103 – 105° C	61
6.3.4 CAPTURA DE CARBONO	64
6.3.4.2 Prueba para la determinación de la captura de carbono: método Walkley	70
6.3.5 VALORACIÓN ECONÓMICA	74
6.3.5.1 Método de valoración contingente	74
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	76
7.1.1 Índice De Fragmentación.....	83
7.2 CARACTERIZACIÓN DE HUMEDALES	84
7.2.1 Humedal El Manantial.....	84
7.2.2 Humedal Las Piedras del Tunjo.....	87
7.2.3 Humedal Las Tinguas.....	87
7.3 SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	90
7.3.1 SERVICIO DE RECARGA DE ACUÍFEROS	90
7.3.1.1 Resultados de prueba de infiltración (método del doble anillo)	90
7.3.1.2 Resultados Propiedades físicas del suelo	95
7.3.1.3 Análisis del servicio de recarga de acuíferos en relación a la fragmentación.....	106
7.3.2 SERVICIO DE RETENCIÓN DE NUTRIENTES.....	108
7.3.2.1 Resultados de prueba de determinación de nitratos.....	108
7.3.2.2 Análisis de retención de nutrientes en relación a la fragmentación	110
7.3.3 SERVICIO DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS	111
7.3.3.1 Análisis de retención de sedimentos en relación a la fragmentación....	114
7.3.4 SERVICIO DE CAPTURA DE CARBONO	116
7.3.4.1 Resultados estimación de captura de dióxido de carbono.....	116
7.3.4.2 Análisis del servicio de captura de carbono en relación a la fragmentación.....	118
7.4 VALORACIÓN ECONÓMICA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	119
7.4.1 Muestra poblacional.....	119
7.4.2 Interpretación de la correlación	120

7.4.3 Análisis de relación de la fragmentación de los humedales y los servicios ecosistémicos dada su valoración económica.....	128
8 CONCLUSIONES.....	130
9 RECOMENDACIONES	131
10 BIBLIOGRAFÍA	133
ANEXOS.....	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aplicabilidad de los índices de fragmentación y conectividad.....	26
Tabla 2. Características humedales.....	31
Tabla 3. Características de las fotografías aéreas.	31
Tabla 4. Comparación de área de humedales.....	82
Tabla 5. Índices de fragmentación	83
Tabla 6. Resultados pruebas fisicoquímicas humedal El Manantial (temporada sequia-lluvias).....	85
Tabla 7. Resultados pruebas fisicoquímicas humedal Las Piedras del Tunjo	87
Tabla 8. Resultados pruebas fisicoquímicas humedal Las Tinguas (temporada sequia-lluvias).....	87
Tabla 9. Resultados prueba de infiltración humedal El Manantial	90
Tabla 10. Resultados prueba de infiltración humedal las Piedras del Tunjo.....	92
Tabla 11. Resultados prueba de infiltración humedal Las Tinguas	93
Tabla 12. Valores de tasa de infiltración del suelo	95
Tabla 13. Resultados humedad gravimétrica	95
Tabla 14. Granulometría Humedal El Manantial	96
Tabla 15. Granulometría Humedal Las Piedras del Tunjo.....	98
Tabla 16. Granulometría Humedal Las Tinguas.	99
Tabla 17. Resultado prueba de tacto.	101
Tabla 18. Resultados porosidad	104
Tabla 19. Resultados coeficiente de permeabilidad.....	106
Tabla 20. Condiciones del suelo de cada humedal.....	107
Tabla 21. Resultados de nutrientes en el humedal El Manantial	108
Tabla 22. Resultados nutrientes en el humedal Las Piedras del Tunjo (temporada lluvias-sequia).....	109
Tabla 23. Resultados nutrientes en el humedal Las Tinguas (temporada lluvias-sequia).....	109
Tabla 24. Resultados sedimentos en el humedal El Manantial (temporada lluvias-sequia).....	111
Tabla 25. Resultados sedimentos en el humedal Las Piedras del Tunjo (temporada lluvias-sequia).....	112
Tabla 26. Resultados sedimentos en el humedal Las Tinguas (temporada lluvias-sequia).....	112
Tabla 27. Especies comunes en los tres humedales	116
Tabla 28. Cantidad de carbono captada en los tres humedales	116
Tabla 29. Captura de carbono vs densidad de especies.....	117
Tabla 30. Tamaño poblacional	120

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1. Infiltración acumulada incluyendo línea de tendencia y ecuación	91
Gráfica 2. Infiltración acumulada incluyendo línea de tendencia y ecuación	93
Gráfica 3. Infiltración acumulada incluyendo línea de tendencia y ecuación	94
Gráfica 4. Curva granulométrica Humedal El Manantial	96
Gráfica 5. Curva granulométrica humedal Las Piedras del Tunjo	98
Gráfica 6. Curva granulométrica Humedal Las Tinguas.	100
Gráfica 7. Disposición a pagar por el servicio de recarga de acuíferos	122
Gráfica 8. Disposición a pagar por el servicio de retención de nutrientes	124
Gráfica 9. Disposición a pagar por el servicio de retención de sedimentos	125
Gráfica 10. Disposición a pagar por servicio ambiental	127
Gráfica 11. Disposición a pagar según el nivel de ingresos	128

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Clasificación de servicios ecosistémicos</i>	24
Ilustración 2. Ciclo del carbono en humedales.....	27
Ilustración 3. Puntos de muestreo humedal El Manantial.....	35
Ilustración 4. Puntos de muestreo humedal Las Tinguas	36
Ilustración 5. Puntos de muestreo humedal Las Tinguas.....	37
Ilustración 6. Dimensiones, instalación y toma de los cilindros infiltrómetros	41
Ilustración 7. Cilindros infiltrómetros ubicados en el campo	41
Ilustración 8 Tasas de infiltración según estado del suelo	42
Ilustración 9. Interpretación de la curva granulométrica	52
Ilustración 10. Curva granulométrica del suelo	52
Ilustración 11. Valores de coeficiente de permeabilidad.....	58
Ilustración 12. Perfil de las principales formaciones vegetales de humedales.	65
Ilustración 13. Listado de especies de plantas registradas para el Humedal Las Tinguas	65
Ilustración 14. Altura en metros de cada especie	66
Ilustración 15. Listado de especies de plantas registradas para el Humedal Las Piedras del Tunjo.....	67
Ilustración 16. Listado de especies de plantas registradas para el Humedal El Manantial	69
Ilustración 17. Determinación de área por el método NDVI	76
Ilustración 18. Área del humedal El Manantial, año 1937	77
Ilustración 19. Área humedal El Manantial, año 2009.....	78
Ilustración 20. Área del humedal Las Piedras del Tunjo, año 1937.....	79
Ilustración 21. Área del humedal Las Piedras de Tunjo, año 2009.....	80
Ilustración 22. Área del humedal Las Tinguas, año 1937.....	81
Ilustración 23. Área del humedal Las Tinguas, año 2009.....	82
Ilustración 24. Clasificación de las aguas según su conductividad.....	86
Ilustración 25. Cambio de temperatura vs pH	89
Ilustración 26. Triángulo textural humedal El Manantial.....	102
Ilustración 27. Triángulo textural humedal Las Piedras del Tunjo.....	102
Ilustración 28. Triángulo textural humedal Las Tinguas	103
Ilustración 29. Porosidad según el tamaño.....	105
Ilustración 30. Distribución de nutrientes en la biomasa.....	117

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.Toma de muestras.....	39
Fotografía 2.Humedal El Manantial.....	113
Fotografía 3. Fragmentos humedal Las Piedras	114
Fotografía 4. Fragmentos humedal Las Tinguas	115

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Matriz para la selección de los puntos de muestreo de calidad.....	137
Anexo B. Formulario de encuesta	140
Anexo C. Resultados pruebas fisicoquímicas	144
Anexo D. Perfil de suelos.....	150

RESUMEN

La presente investigación busca determinar la valoración y comparación de cuatro servicios ambientales presentes en los humedales, El Manantial, Las Tinguas y Las Piedras del Tunjo del municipio de Facatativá. Para la operacionalización de las variables de los servicios ecosistémicos se realizará el análisis del estado de fragmentación de cada humedal. Seguido de esto se realizará la medición de la calidad del agua de los humedales, mediante los procedimientos establecidos por el IDEAM y el Standard Methods. En cuanto a la cuantificación del servicio de recarga de acuíferos se empleará el método del infiltrómetros de doble anillo, para el de retención de nutrientes se determinará la presencia de nitrógeno por espectrofotometría uv y de fósforo mediante el método del ácido ascórbico, la retención de sedimentos se obtendrá a través de la medición de los sólidos totales secándolos a 103 – 105 °C y los sólidos sedimentables mediante cono Imhoff. Finalmente, la captura de carbono de la vegetación se hará a través del método de Walkley y Black. Luego de obtener los resultados mediante estas metodologías se evaluarán monetariamente a través de la valoración contingente. Con lo anterior se busca aportar información a entidades públicas y privadas para la gestión ambiental y toma de decisiones, e incluyan dentro de sus políticas a los humedales como parte importante para el bienestar de la comunidad, el aporte al cambio climático y la disminución de los costos generados frente a solución de problemáticas ambientales.

Palabras clave: humedal, fragmentación, servicios ecosistémicos, valoración económica, preservación.

ABSTRACT

The present investigation seeks to determine the evaluation and comparison of four environmental services present in the wetlands, The Manantial, The Tinguas and The Piedras del Tunjo in the municipality of Facatativá. For the operationalization of the variables of the ecosystem services. Following this, the water quality of the wetlands was measured using the procedures established by the IDEAM and the Standard Methods. Regarding the quantification of the aquifer recharge service, the double-ring filter method will be used. For nutrient retention, the presence of nitrogen will be determined by UV and phosphorus spectrophotometry using the ascorbic acid method, sediment retention at through the measurement of total solids at 103 - 105 °C and the settleable solids by Imhoff cone. Finally, the carbon capture of the vegetation is done through the Walkley and Black method. After obtaining the results by these methodologies, it was evaluated monetarily through the contingent valuation. With the above, it seeks to provide information for public and private entities for environmental management and decision making, and includes within its policies to wetlands as an important part for the welfare of the community, the report on climate change and the decrease of the costs generated in the face of solving environmental problems.

Key words: wetland, fragmentation, ecosystem services, economic valuation, preservation.

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que los humedales, según la Convención Ramsar “son aquellas extensiones de marismas, pantanos, turberas o aguas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda seis metros”.¹ Los humedales pueden ser afectados por la degradación de su estructura, la cual en ocasiones no causa su desaparición total, pero consigue dañar severa e irreversiblemente su funcionamiento y capacidad de proporcionar servicios a la población. La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio dan una idea de las principales amenazas sobre los humedales, las más comunes son: crecimiento poblacional y urbanización, drenaje para la agricultura, construcción de represas y canales fluviales, contaminación, sobrepastoreo y fragmentación.²

Algunas de las perturbaciones que pueden presentarse en los humedales y causar un mayor efecto son la disminución de los bienes y servicios ecosistémicos que estos ofrecen, entendiéndose como “las contribuciones directas o indirectas de los ecosistemas al bienestar humano”³. Una forma de clasificación de estos es en directos e indirectos, algunos ejemplos de los servicios directos son la pesca, aprovechamiento maderero y el uso de los humedales con fines recreativos, incluyendo actividades comerciales y no comerciales. Estos servicios son tomados en cuenta desde el punto de vista de las necesidades de subsistencia de las poblaciones locales. Por otra parte, los servicios indirectos se relacionan con el funcionamiento de procesos del ecosistema que genera los servicios anteriores, como el proceso de fotosíntesis, el ciclo de nutrientes, el control de la erosión, el mantenimiento de cauces de ríos. De estos serán objeto de estudio, la retención de agua, el almacenamiento de carbono, recarga de aguas subterráneas, purificación de aguas por la retención de nutrientes, sedimentos y sustancias tóxicas.

La valoración de los servicios ecosistémicos es un intento de asignar valores cuantitativos a los bienes y servicios proporcionados por el ecosistema, independientemente de si existen o no precios de mercado que ayuden a hacerlo. El valor económico total de cualquier bien o servicio suele medirse teniendo en cuenta lo que se está dispuesto a pagar por él. En el caso de que un ecosistema

¹ SCOTT Fide y CARBONELL. Humedales, parte del tesoro colombiano. Bogotá, 1986.

² World Resources Institute. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Washington, DC, 2005.

³ TAMAYO, Elizabeth. Importancia de la valoración de servicios ecosistémicos y biodiversidad para la toma de decisiones. Bogotá. Revista Ciencias Ambientales y Sostenibilidad CAS. Vo.1, No.1, 2014.

se encuentre en estado de fragmentación, es decir, que haya sufrido un proceso de división en secciones, se podrán evidenciar los cambios en la calidad de los servicios ecosistémicos y a su vez en el valor económico que brindan a la comunidad aledaña.

Bajo este escenario de la importancia de la preservación de los servicios ecosistémicos indirectos que pueden brindar los humedales, se cuantificarán cuatro de ellos: retención de nutrientes, captura de carbono, recarga de acuíferos y retención de sedimentos, presentes en los humedales El Manantial, Las Tinguas y Las Piedras del Tunjo, ubicados en el municipio de Facatativá. Dichos humedales presentan diferentes estados de fragmentación, permitiendo así realizar la comparación de forma cuantitativa entre los servicios ecosistémicos indirectos y finalmente realizar la valoración económica de dichos servicios.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad los humedales siguen disminuyendo a escala mundial de forma vertiginosa, tanto en su extensión, como en su calidad. Como resultado de ello, se reducen los servicios ecosistémicos que los humedales proporcionan a la sociedad y al ambiente. Se calcula que la extensión mundial de los humedales disminuyó entre un 64 y un 71 % en el siglo XXI y que la pérdida y degradación de los humedales continúa en todo el mundo.⁴

En Colombia hay cerca de 2.711.473 ha de humedales, que corresponden al 2,4% respecto al total continental del país y están representados por ciénagas, pantanos, turberas, lagunas y bosques inundados⁵. Dichos ecosistemas proveen múltiples bienes y servicios para el desarrollo de las actividades económicas, así como a las comunidades locales. A pesar de esto, los humedales son en la actualidad uno de los ecosistemas más amenazados por diferentes actividades humanas no sostenibles y la falta de conocimiento que aún existe sobre su importancia. Como resultado, estos ecosistemas presentan fuertes procesos de deterioro por diversos factores como la agricultura intensiva, urbanización, contaminación y otras formas de intervención en el sistema ecológico e hidrológico.⁶

Los factores que contribuyen a la degradación transforman la cobertura vegetal natural, lo que induce cambios marcados en la composición, estructura y funcionamiento del paisaje. A su vez, conlleva a la pérdida y la fragmentación del hábitat. El término fragmentación usualmente se emplea para denotar la división de un hábitat, antes continuo, en parches aislados que difieren en forma y tamaño. Este proceso no solo compromete el flujo de materia y energía y genera cambios en las características propias del ambiente (como cambios en el régimen hídrico y microclimático), sino que afecta el flujo biológico en el paisaje, la dispersión y la abundancia de los recursos y la distribución espacial de los individuos, entre otros.⁷

La suma de todas las problemáticas mencionadas hace que la pérdida de biodiversidad tenga grandes impactos para los seres humanos. Es así como 15 de

⁴ RAMSAR. Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas. 2015.

⁵ PNGIBSE. Política Nacional Para La Gestión Integral De La Biodiversidad Y Sus Servicios Ecosistémicos. Bogotá. 2012. Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible.

⁶ MINAMBIENTE. Política nacional para humedales interiores de Colombia. Bogotá, 2002.

⁷ PINO, Ángel. La fragmentación del paisaje como principal amenaza a la integridad del funcionamiento del territorio. 2000.

los 24 servicios directos e indirectos de los ecosistemas, que contribuyen al bienestar humano, están en declive, dentro de estos se encuentran: los de producción primaria, hábitat para especies, farmacéuticos, descomposición de residuos y desintoxicación e inspiración cultural, intelectual y espiritual, entre otros.⁸ Así, muchos de esos valores no se incluyen en la toma de decisiones públicas y privadas, provocando el deterioro de una importante fuente de riqueza para la población aledaña, como la pérdida de hábitat y la fragmentación las cuales se consideran las principales amenazas que afectan a la diversidad biológica.⁹

Aunque se cuenta con pocas políticas públicas relacionadas con la preservación de los servicios ecosistémicos, como lo es la Política Nacional Para La Gestión Integral de la Biodiversidad Y Sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), cuyo objetivo es promover la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (Gibse), de manera que se mantenga y mejore la resiliencia de los sistemas socioecológicos, a escalas nacional, regional, local y transfronteriza, considerando escenarios de cambio y a través de la acción conjunta, coordinada y concertada del Estado, el sector productivo y la sociedad civil. No se ejecuta a nivel local dentro del plan de desarrollo del municipio de Facatativá.¹⁰

Dado que los impactos de estas amenazas no solo afectan a escala nacional sino también a escala regional. Un ejemplo de ello son los humedales ubicados en la jurisdicción del municipio de Facatativá, lo cuales corresponden a ecosistemas del altiplano Cundiboyacense y, hasta 1950, el área era de 50.000 Ha. Hoy tan solo quedan 500 Ha aproximadamente, una reducción considerable por las actividades antropogénicas, a un 1 % de la superficie original.¹¹

Bajo el contexto del proceso de fragmentación que ocurre en el municipio Facatativá, se seleccionaron los humedales Las Tinguas y las Piedras del Tunjo, con el fin de contrastar los resultados con el humedal El Manantial el cual se encuentra en estado natural. Los humedales seleccionados presentan problemáticas relacionadas con la captación ilegal de agua, vertimiento de aguas residuales provenientes de las casas aledañas, contaminación por residuos sólidos,

⁸ Instituto Humboldt. La biodiversidad y los servicios ecosistémicos. 2014.

⁹ ANDRADE, Gonzalo. Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas. consideraciones para fortalecer la interacción ciencia-política. Bogotá. vol.35.no.137. 2011.

¹⁰ PNGIBSE. Política Nacional Para La Gestión Integral De La Biodiversidad Y Sus Servicios Ecosistémicos. Bogotá. 2012. Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible.

¹¹ RENJIFO, L.M. Los Humedales de la Sabana de Bogotá. Bogotá: Vol. I, N°.1 Pag. 3-8. 1992.

invasión de la ronda hidráulica, proyectos de urbanización y la carencia de educación ambiental por parte de la población aledaña.

A pesar de que existen iniciativas en curso para la preservación de los humedales del municipio de Facatativá, es evidente que hay una tendencia negativa y que los humedales se siguen perdiendo o degradando, lo que se traduce en impactos negativos sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. No existe actualmente una base de datos en el municipio, en la cual se establezca la cuantificación de los servicios ecosistémicos de los humedales, ni tampoco su valoración económica, por lo cual no se cuenta con las herramientas necesarias para la gestión adecuada y preservación dentro de los planes de ordenamiento y políticas municipales.¹² Así como la no inclusión de los actores comunitarios dentro de los procesos de preservación de los humedales, en la búsqueda de soluciones integrales a las problemáticas que los aquejan.

Dadas estas condiciones se da lugar a generar la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué efectos tiene la fragmentación en la prestación de los servicios ecosistémicos retención de nutrientes, captura de carbono, recarga de acuíferos y retención de sedimentos, en los humedales El Manantial, Las Tinguas y Las Piedras del municipio de Facatativá y cómo influye en su valoración económica?

¹² Alcaldía Facatativá. Protección y conservación de los humedales en Facatativá. Pág. 6-8. 2014.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los efectos de la fragmentación sobre los servicios ecosistémicos en los humedales, El Manantial, Las Tinguas y Las Piedras del Tunjo del municipio de Facatativá y su valoración económica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificación de los servicios ecosistémicos presente en los humedales, El Manantial, Las Tinguas y Las Piedras del Tunjo.
- Determinación y comparación del efecto de la fragmentación sobre los servicios ecosistémicos, recarga de acuíferos, retención de nutrientes y sedimentos y la captura de carbono, presentes en los tres humedales objeto de estudio.
- Valoración económica de los servicios ecosistémicos en los tres humedales objeto de estudio.

3. JUSTIFICACIÓN

Los humedales del país son de gran importancia no sólo desde el punto de vista ecológico sino también socioeconómico, por sus múltiples funciones, valores y atributos, los cuales son esenciales para la sociedad en su conjunto. Sin embargo, la alteración de su equilibrio natural por actividades antrópicas tiene un costo económico, social y ecológico. En este sentido, la Convención Ramsar (2000), plantea que la perturbación de los humedales debe cesar, que la diversidad debe conservarse, y se debe rehabilitar o restaurar aquellos que presenten condiciones aptas para este tipo de acciones. Así mismo, la conservación de estos ecosistemas es prioritaria para cumplir con los objetivos de protección contemplados en otros tratados internacionales de los cuales Colombia es parte, como por ejemplo el Convenio sobre la Diversidad Biológica.¹³

Tomando como base los tratados y convenios de los cuales Colombia hace parte, se genera un compromiso relacionado con la preservación de los humedales tanto a escala nacional como regional. En este sentido el municipio de Facatativá específicamente ha realizado estudios básicos enfocados hacia la caracterización de la fauna y flora de dichos ecosistemas, como se evidencia en el realizado en el año 2013.¹⁴ Sin embargo no existen estudios donde se cuantifiquen los bienes y servicios de cada humedal, así como que no se ha tenido en cuenta el enfoque económico que busque involucrar a entes públicos y privados en el proceso de gestión sostenible.

Además, es importante profundizar en los conocimientos teóricos que se tienen desde las investigaciones realizadas por Ramsar en el marco de la preservación de los humedales, adaptando las metodologías al entorno local, así como brindar la información necesaria para determinar de forma cualitativa la presencia de servicios ecosistémicos y su valoración económica. Mediante la asignación de un valor a dichos bienes y servicios, ya que una de las principales causas de la disminución de los recursos de los humedales, es que sus valores no comerciales no se tienen en cuenta adecuadamente en las decisiones concernientes al desarrollo.¹⁵

El hecho de que la degradación de recursos ambientales no se tenga en cuenta en mayor grado, es una de las principales causas de la formulación de políticas de

¹³ MINAMBIENTE. Política nacional para humedales interiores de Colombia. Bogotá, 2002.

¹⁴ Alcaldía Facatativá. Protección y conservación de los humedales en Facatativá. Pág. 10-12. 2014.

¹⁵ RAMSAR. La convención de RAMSAR y su misión. 2014.

desarrollo inapropiadas del municipio, lo cual se evidencia en el eje 2 Facatativá sustentable y atractiva, incluido en el plan de desarrollo (2016-2019), el cual busca consolidar corredores ambientales que incluyan solamente las rondas de los ríos, así como la protección y renaturalización con cobertura vegetal en La Tribuna, La Selva, Los Manzanos, San Rafael y Mancilla, sin incluir ninguna de las zonas de humedales del municipio.¹⁶

Adicional a esto el municipio de Facatativá en el año 2015 llegó a presentar un 77% de desabastecimiento de agua, debido a los periodos de sequía, a que no se tiene un manejo adecuado de las fuentes subterráneas con que cuenta el municipio, dado que se usan solo 5 de los 7 pozos profundos, la ampliación de la frontera urbana y el hecho de que los cultivos de flores presentes dentro y fuera del municipio se usan fuentes subterráneas de agua para los procesos de cultivo y poscosecha.

Dentro del enfoque de la Investigación Acción Participativa, se busca en la sociedad una mayor capacidad de respuestas a los problemas ambientales, ya que el estudio se realiza en la comunidad no solamente por medio de una investigación que muestre las problemáticas dentro y fuera de cada uno de los humedales, sino que de manera integrada se involucre cada uno de los miembros de la comunidad aledaña, para generar posibles soluciones.

Por estas razones y teniendo en cuenta la gran variedad de servicios ecosistémicos presentes dentro de un humedal, para la presente investigación se seleccionaron cuatro servicios de regulación, dadas las siguientes condiciones: valoración económica directa, mediante el método de valoración contingente y que fueran medibles empleando los insumos y métodos con que contaba el proyecto.

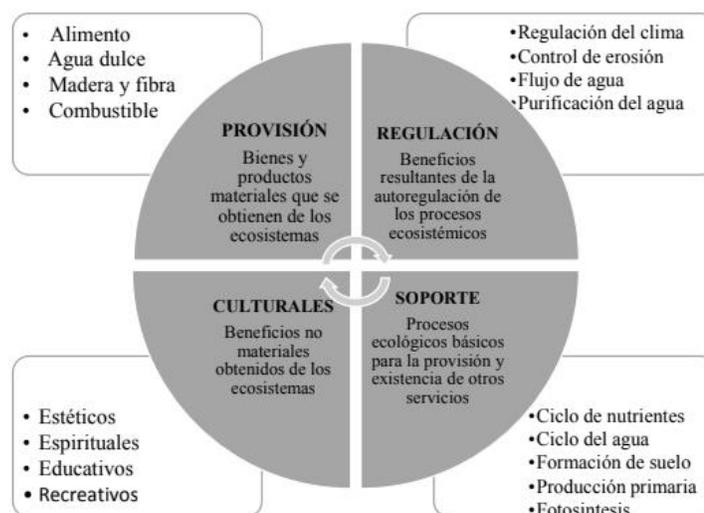
¹⁶ Alcaldía de Facatativá. Plan de Desarrollo 2016-2019. Facatativá. 2016.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 Marco Teórico

Se sabe que los humedales han sido zonas muy importantes en el desarrollo geológico e histórico del planeta. Entre los humedales se encuentran algunos de los ecosistemas más productivos, tanto por sus componentes como por sus funciones. Estos ecosistemas generan bienes y servicios para la sociedad y realizan varias funciones ecológicas y ambientales. Por lo tanto, surge el concepto de “servicio ecosistémico” que se origina junto con los movimientos ambientalistas a finales de la década de los 60’s (Ilustración 1).¹⁷ Nace como una necesidad de comunicar a los tomadores de decisiones y a la sociedad en general el estrecho vínculo entre bienestar humano y mantención de las funciones básicas del planeta. A pesar de que se reconoce la importancia de los servicios ecosistémicos que brindan los humedales, durante los últimos 50 años los seres humanos han transformado estos ecosistemas a un ritmo y con un alcance superior a ningún otro periodo de la historia de la humanidad.¹⁸

Ilustración 1. Clasificación de servicios ecosistémicos



Fuente: adaptado de (Ruiz, et al., 2014)

¹⁷ CORTINA, Sofía. Servicios ecológicos y actores sociales. México. INE, Semarnat, 2007.

¹⁸ SANJURJO, Enrique. Valoración económica de servicios ambientales prestados por ecosistemas. México. Instituto nacional de ecología, 2001.

Debido a esto es que los conservacionistas, planificadores y ecólogos se refieren a la pérdida de hábitat y al aislamiento de los hábitats con el término fragmentación.¹⁹ La pérdida de hábitat siempre está asociada a los efectos negativos derivados de las acciones antrópicas que conllevan a una modificación intensa del territorio y que se traduce en una pérdida importante de hábitat naturales, en la disminución e incluso en la extinción de especies. Con la fragmentación y destrucción de un hábitat se produce un cambio progresivo en la configuración del paisaje.²⁰

Para saber que tanto se ve afectado un ecosistema con la fragmentación se busca realizar una valoración económica de los servicios, el objetivo de la valoración es intentar frenar la pérdida de biodiversidad, visibilizando el significado económico de la naturaleza y los beneficios económicos a largo plazo de la conservación.²¹

La fragmentación se traduce en la creciente reducción y aislamiento de los parches de hábitat y poblaciones silvestres asociadas a éstas, si bien la magnitud de esta pérdida de conectividad depende de varios factores: la especie considerada, las características y la disposición en el paisaje de los fragmentos de hábitat, o las características de los espacios que separan dichos fragmentos son algunos de ellos. La sensibilidad de los organismos a la fragmentación de su ambiente no depende solo de su grado de especialización del hábitat, sino también de la capacidad de dispersión de la especie en cuestión. Ésta determina, a igualdad de condiciones de distribución del hábitat y de usos del suelo en el paisaje, la probabilidad de conservar el intercambio genético entre poblaciones que habitan parches distantes o de colonizar nuevos territorios, factores considerados decisivos para la persistencia de las especies en paisajes fragmentados. Para dicho fin se emplean los índices de fragmentación y conectividad, los cuales son útiles para unos ecosistemas en específicos.

El índice de fragmentación es una medida cartográfica del grado de agregación espacial de los parches de hábitat objeto de estudio. En cambio, el índice de conectividad se basa en la funcionalidad del territorio desde el punto de vista de la capacidad de movimiento de los organismos a través de los distintos usos del suelo

¹⁹ GÓMEZ, Ana María. Análisis de fragmentación de los ecosistemas boscosos en una región de la cordillera central de los andes colombianos. Medellín. Revista Ingenierías, 2005. Pág. 13-27.

²⁰ PINO, Ángel. La fragmentación del paisaje como principal amenaza a la integridad del funcionamiento del territorio. 2000.

²¹ GAVILAN, L.P; GRAU, J; Oberhuber, T. Valoración económica de la biodiversidad, oportunidades y riesgos.2011.

(y la resistencia que éstos oponen a dicho movimiento), de forma que este indicador solo es aplicable cuando la capacidad dispersiva de especies indicadoras del hábitat objeto de estudio se ve influenciada de forma conocida por los diferentes usos del suelo del conjunto del territorio.

Los humedales son el albergue de especies de aves migratorias, dada la gran capacidad de desplazamiento de estas especies, se considera aplicable el índice de fragmentación sobre este tipo de hábitats. La conectividad en este caso es tan solo consecuencia del grado de separación espacial de los humedales y de la superficie de los mismos, ya que las especies asociadas a escala regional acceden a ellos por aire.²²

Tabla 1. Aplicabilidad de los índices de fragmentación y conectividad sobre los ambientes

Ambiente/Indicadores	Índice De Fragmentación	Índice De Conectividad
Arenales costeros	Aplicable	No aplicable
Humedales	Aplicable	No aplicable
Matorrales	Aplicable	No aplicable
Herbáceas	Aplicable	No aplicable
Bosques	Aplicable	Aplicable
Cultivos mediterráneos	No aplicable	No aplicable
Cultivos atlánticos	No aplicable	No aplicable

Fuente: Mikel Gurrutxaga, 2003

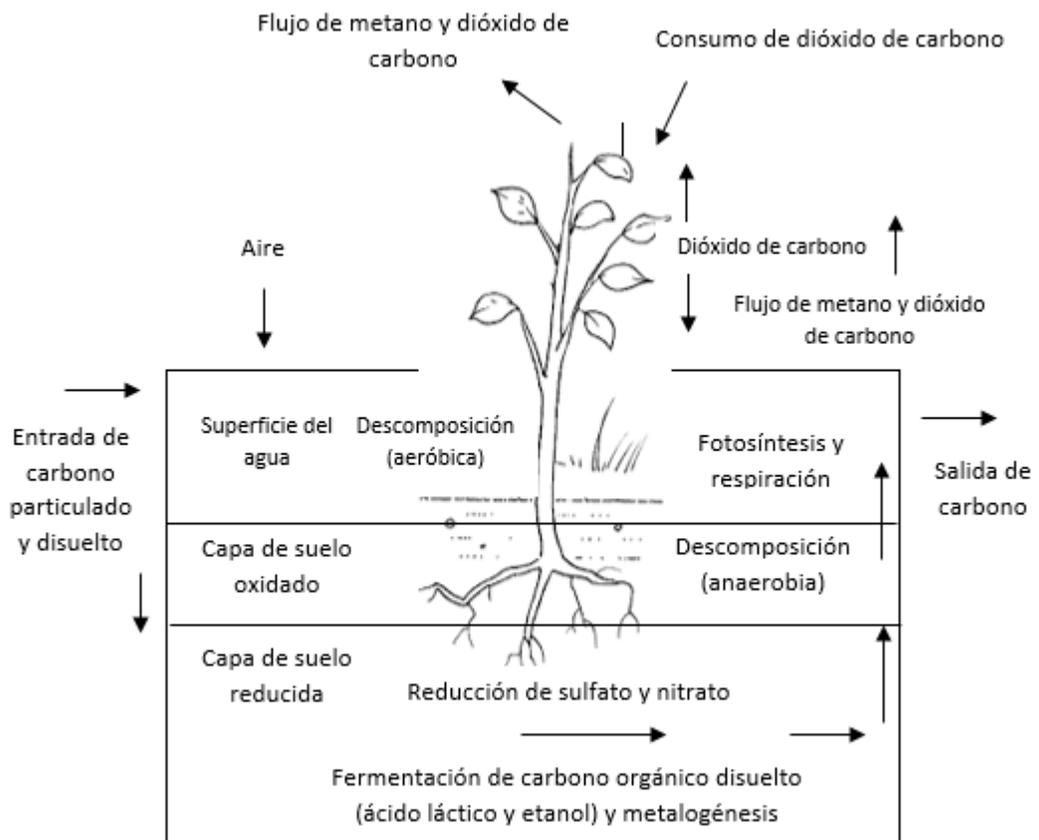
El informe sobre la economía del cambio climático (Stern Review on the Economics of Climate Change) del 2006, tuvo una repercusión que traspasó el ámbito puramente científico y se plasmó en el Programa Internacional de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MA, en sus siglas en inglés). Un informe encargado por Naciones Unidas, que muestra los estrechos vínculos que existen entre los sistemas naturales y el bienestar humano, introduciendo como eje esencial del debate los aspectos sociales de los ecosistemas y la biodiversidad a través de los servicios que generan a la sociedad. Es en MA donde germina la opción de la valoración económica de la diversidad biológica.

²² GURRUTXAGA, Mikel. Índices de fragmentación y conectividad para el indicar de biodiversidad y paisaje. España. Biodibertsitatea eta paisaia, 2003.

Es así como el carbono cuando se libera a la atmosfera, en forma de dióxido de carbono, se convierte en un gas efecto invernadero que contribuye al calentamiento global. Por esto, parte del método para mantenerlo en niveles adecuados es que se quede atrapado en los organismos que más lo cargan en su composición. Entre ellos, los árboles y bosques, que cumplen una función fundamental como reservorios de carbono.

Según explica el IDEAM, la cantidad de carbono que tiene un bosque se puede medir a partir de cinco factores: la biomasa aérea (que se encuentra en el tronco, las ramas y frutos de los árboles), la subterránea (que está en las raíces), la del suelo, la de la hojarasca que se encuentra sobre este y la de los árboles que ya murieron, pero siguen en pie. (Protocolo para la estimación nacional y la subnacional de biomasa –carbono en Colombia).

Ilustración 2. Ciclo del carbono en humedales



Fuente: Autores

En los últimos años la valoración económica de la biodiversidad ha surgido como argumento para frenar la destrucción de biodiversidad, pretendiendo visibilizar el significado económico de la naturaleza y los beneficios económicos a largo plazo de la conservación. Gobiernos, empresas y organismos internacionales se han convertido en abanderados de la importancia económica del patrimonio natural, no sólo mostrando al público la equivalencia económica de los procesos y servicios ecosistémicos, sino también queriendo integrar los valores económicos de la biodiversidad en los sistemas nacionales de contabilidad.

El origen de este tipo de estudios es relativamente reciente, el primer trabajo de este tipo que se presenta fue el de Robert Constanza et al. En 1997, titulado “El valor de los servicios de los ecosistemas mundiales y el capital natural”, donde se estima que el valor de la biosfera (la mayoría de la cual está fuera del mercado) está en un rango de 16-54 trillones de dólares al año, con una media de 33 trillones de dólares/año (tomando esto como una estimación mínima). El valor del PIB (Producto Interior Bruto) es de 18 trillones de dólares/año, es decir, el valor de la biodiversidad supera con creces al PIB mundial.

En el marco de la economía ambiental, podemos distinguir cuatro métodos de valoración económica del medio ambiente. Estos son: i) el método de los costos evitados o inducidos; ii) el método del costo de viaje; iii) el método de los precios hedónicos; iv) el método de la valoración contingente. Los tres primeros son considerados métodos indirectos y el último método directo. La característica de estas metodologías es que intentan asignar un valor a los bienes y a los servicios ambientales de la forma en que lo haría un mercado hipotético, que luego, en caso de así deseárselo, permiten realizar una estimación de la función de demanda del bien o servicio ambiental en cuestión.

Los métodos directos e indirectos se ubican en una perspectiva temporal diferente. Mientras los métodos indirectos intentan inferir la valoración que hacen las personas de un hecho que ya ocurrió a partir de la observación de su conducta en el mercado, el método de valoración contingente y sus variantes presentan una situación hipotética que aún no se ha producido.²³ Dentro de investigaciones donde se valoren los servicios ambientales, surge muy frecuentemente la necesidad de determinar la relación entre dos variables cuantitativas. Siendo los objetivos:

²³ AZQUETA, D.; FERREIRO, A. Análisis económico y gestión de recursos naturales. Madrid, España. Alianza editorial, S.A.1994.

- Determinar si las dos variables están correlacionadas, es decir, si los valores de una variable tienden a ser más altos o más bajos para valores más altos o más bajos de la otra variable.
- Poder predecir el valor de una variable, dado un valor determinado de la otra variable.
- Valorar el nivel de concordancia entre los valores de las dos variables.²⁴

4.2 Marco Conceptual

La Convención de Ramsar es un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos, la cual define como humedal las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales.

Los servicios ecosistémicos, los cuales se definen como el conjunto de condiciones y procesos naturales que ofrece un ecosistema por su simple existencia y que la sociedad puede utilizar para su beneficio. Se clasifican en directos e indirectos.²⁵ Los servicios ecosistémicos directos que presta un humedal corresponden a servicios que la comunidad recibe directamente, entre los cuales se encuentra la pesca, la leña y el uso con fines recreativos; al contrario de los servicios ecosistémicos indirectos los cuáles se dan por la interacciones de los componentes físicos, biológicos y químicos, como los suelos, el agua, las plantas y los animales, hacen posible que un humedal desempeñe muchas funciones vitales.

En algunos casos se puede dar la disminución de los servicios ecosistémicos por causas de fragmentación y problemáticas ambientales. Cuando se da la fragmentación de un humedal se habla del proceso de división de un hábitat continuo o en fragmentos los cuales quedan con vegetación secundaria y causa que se transforme la flora y fauna nativa de dicho hábitat, afectando directamente a la biodiversidad, o también puede afectar indirectamente algunas interacciones biológicas y los procesos de regulación que se encuentran en el ecosistema.²⁶

²⁴ SIEGEL, Sidney. Diseño Experimental No Paramétrico. Las medidas de correlación y sus pruebas de significación. El coeficiente de correlación de rangos de Spearman. Cuba: Edición Revolucionaria. Instituto Cubano del Libro; 1972, p. 233-245.

²⁵ CIFOR. Pagos por servicios ambientales. 2006

²⁶ BUSTAMANTE, Ramiro. Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques nativos. Ciencias y ambiente. 1995. Pag.58-60.

Según la Convención de Ramsar, para conseguir conservar los humedales hay que demostrar que son valiosos y, en algunos casos, que son más valiosos que otros usos que se proponga dar a los mismos o a las aguas que los alimentan. Teniendo en cuenta esto, se hace imprescindible incluir en la gestión pública y privada los valores físicos, sociales y económicos de los humedales. La valoración económica es una alternativa que busca asignar un valor monetario a los bienes y servicios suministrados, ya sea que se cuente o no con precios de mercado que puedan prestar asistencia.²⁷

5. ENFOQUE METODOLÓGICO

La metodología empleada para la presente investigación tiene un enfoque metodológico de tipo cuantitativo, debido a se pueden probar hipótesis e interpretar fenómenos basados en la realidad, sin influencia o manipulación de los datos por parte del investigador.

También se cuenta con un enfoque cualitativo, dado que las técnicas e instrumentos de recolección de información, se fundamentan en la revisión bibliográfica, la observación, aplicación en campo y entrevistas directas con la comunidad para la recolección de datos.

El alcance de los objetivos es descriptivo, ya que se efectúa porque se busca describir en todos sus componentes principales la hipótesis.

La investigación cuenta con fuentes de información: secundarias en las cuales contienen información organizada, elaborada, producto de análisis, extracción o reorganización que refiere a documentos primarios originales.

6. METODOLOGÍA

²⁷ ANLA. Valoración económica – instrumentos económicos del impacto ambiental. 2014.

6.1 Área de Estudio

Para el presente trabajo se seleccionaron tres humedales del municipio de Facatativá. Teniendo en cuenta el área y su estado de fragmentación.

Tabla 2. Características humedales.

Humedal	Área (m ²)	Estado	Ubicación	Altitud m.s.n.m	Fuente que lo abastece
LAS TINGUAS	5.466	3 fragmentos	Barrio Pensilvania	2.595	Quebrada Guapucha
LAS PIEDRAS DEL TUNJO	2.068	4 fragmentos	Parque arqueológico Piedras del Tunjo	2.597	Quebrada Chapinero
EL MANANTIAL	107.285	Conservado	Vereda Mancilla	2.738	Quebrada Mancilla

Fuente: (Alcaldía de Facatativá , 2014)

6.1.1 Comparación de áreas mediante fotografías aéreas

En el presente trabajo se dará a conocer que área tenían los tres humedales años atrás y visualizar si se han fragmentado, para lo cual se adquirieron 4 fotografías aéreas en IGAC (tabla 3).

Tabla 3. Características de las fotografías aéreas.

FORMATO	NÚMERO DEL VUELO	FECHA	ESCALA
Color (tres bandas)	22703025112009-1137	2009	1:25000
Color (cuatro bandas)	22705027012009-608	2009	1:25000
Pancromática	C-1090-0007	1937	1.100000
Pancromática	C-1090-11	1937	1.100000

Fuente: IGAC y UAF

Pancromática: proporciona imágenes semejantes al ojo humano, como consecuencia de la reflexión de los objetos de las radiaciones del espectro visible.

Color: requieren unas condiciones atmosféricas mejores para la realización del vuelo, pero aumentan la diferencia de tonos.

Infrarrojo (blanco y negro): permite una identificación más fácil de las especies, puesto que la radiación infrarroja atraviesa la atmósfera y la clorofila no absorbe esta radiación.

Infrarrojo color (falso color): son las que más posibilidades ofrecen en fotointerpretación, ya que reúnen las ventajas de las dos anteriores. Son sensibles

a la misma banda espectral que las infrarrojas en blanco y negro, pero asignan a los objetos colores que no tienen que ver con la realidad.²⁸

➤ **Calculo de del índice de vegetación (NDVI) en argis**

Usando ArcCatalog, en directorio de trabajo y seleccionar la imagen (en este caso solo se puede realizar con la aerofotografía a color que contiene 4 bandas), expandiendo sus contenidos de tal manera que se puedan seleccionar las bandas individuales que la componen.

Abrir spatial analyst para usar el “Raster Calculator”. Hacer click con el botón derecho del mouse sobre cualquier área de los menues o herramientas de trabajo en ArcMap, y seleccione “Spatial Analyst”. La siguiente barra de herramienta aparecerá.

Ingresar la fórmula para calcular el NDVI Es muy importante que la formula se escriba correctamente, por lo cual se recomienda que en su mayoría ingrese la formula usando los botones del Raster Calculator. Para agregar una imagen haga doble click sobre su nombre y se agregara la formula. No ponga ningún espacio manualmente, los espacios se agregarán de manera correcta tras pulsar las teclas de la calculadora.

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$

Es decir, mediante la diferencia entre la *reflectancia* de las bandas 4 (infrarrojo cercano) y 3 (visible – rojo) dividido por la suma de estas dos bandas de *reflectancia*.

Recordar que los valores del NDVI son de -1 a 1, y por ende no es posible que haya números más bajos o altos que estos en el resultado.

Utilizar una rampa de color apropiada para desplegar el NDVI Sobre la nueva capa creada (Calculation) haga click con el botón derecho del mouse, y seleccione

²⁸ VÁZQUEZ, Pablo. Fotointerpretación de los usos del suelo. España. Universidad de Santiago de Compostela, 2010.

“Properties”, y seleccione la pestaña de “Symbology”. En Color Ramp seleccione la rampa.

6.1.2 Índice de fragmentación

Una vez seleccionados los grupos de hábitats afines cuya evolución del grado de fragmentación se desea evaluar, se crean los mapas que recogen las áreas del territorio que contienen cada uno de ellos, con base a la información cartográfica disponible actualmente. Concretamente, para cada tipo de ambiente, se seleccionan aquellas áreas del territorio en las que están presentes tanto los hábitats correspondientes de mayor cobertura como los segundos de mayor cobertura.

Posteriormente se procede a aplicar el índice de fragmentación sobre cada uno de los mapas creados. Al tratarse de la primera medición del índice, no se puede realizar aún una valoración sobre la evolución del mismo para los diferentes ambientes.

La ecuación utilizada para calcular el índice de fragmentación es la siguiente:

$$F = \frac{\textit{Superficie total del habitat}}{\textit{Número de parches} \times \textit{dispersion de los parches}}$$

Donde, dispersión de los parches $R_c = 2 dc \times \frac{\lambda}{\pi}$

dc = distancia media desde un parche (su centro o centroide) hasta el parche más cercana.

λ = densidad media de parches: $\frac{\textit{Número de parches}}{\textit{Superficie total del ara de estudio}} \times 100$

6.2 Pruebas fisicoquímicas

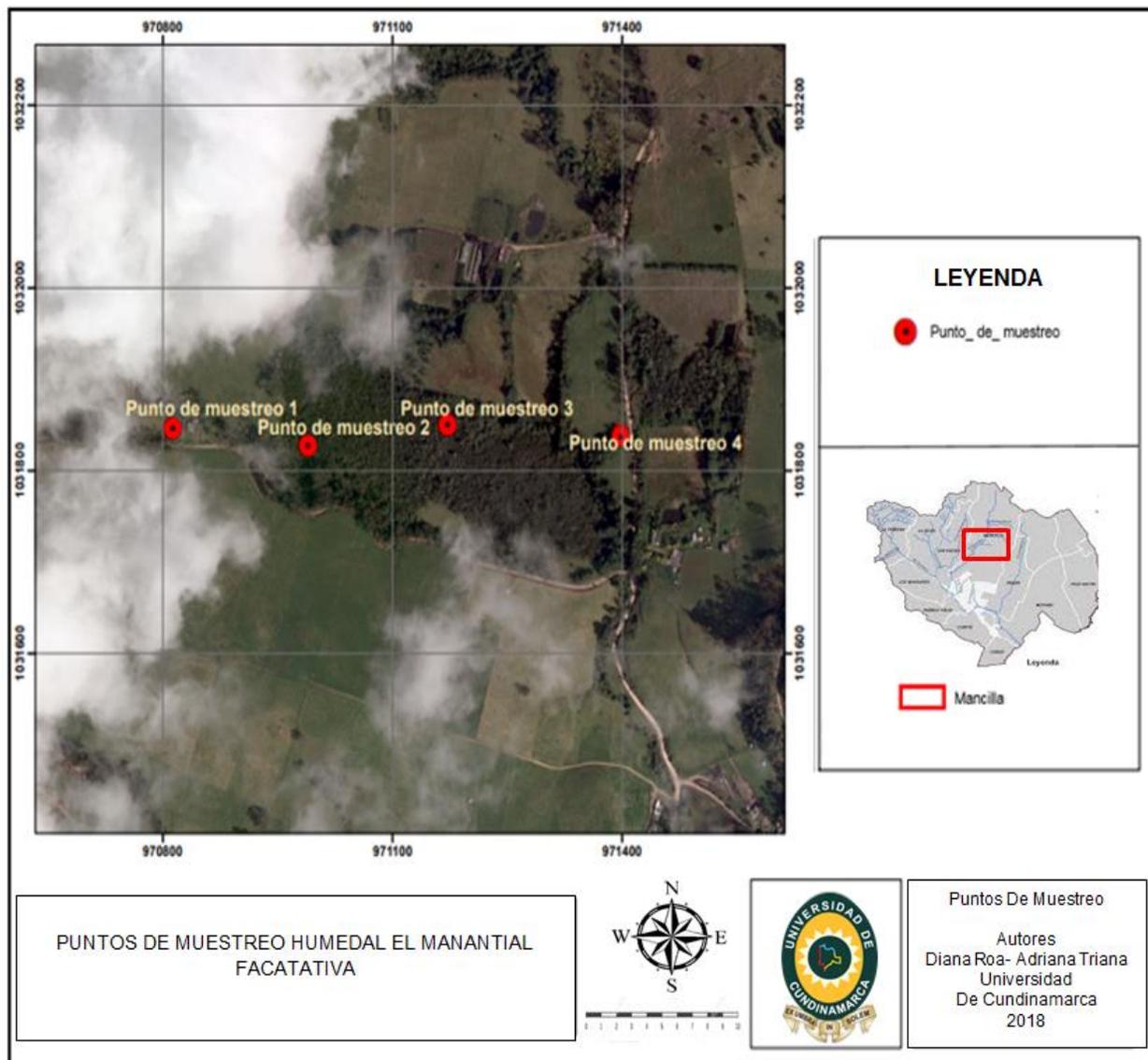
En los meses de febrero- marzo, temporada seca y octubre-noviembre temporada de lluvias, se realizó la toma de muestras en los tres humedales objeto de estudio. Se establecieron 4 puntos de muestreo para el humedal El Manantial (Tabla 2), 4

puntos de muestreo para el humedal las Piedras del Tunjo (Tabla 3) y 3 puntos de muestreo para el humedal las Tinguas (Tabla 4). Se tomó una muestra por cada punto, con el fin de evaluar los aspectos físico-químicos del cuerpo de agua de cada humedal y su respectiva replica, para verificar la reproducibilidad del muestreo y cualquier otra causa de variabilidad introducidas desde el momento del muestreo hasta el momento del análisis.²⁹

Para la escogencia de las zonas de muestreo se tuvieron en cuenta aspectos como accesibilidad al sitio, teniendo en cuenta que se cuente con sendero peatonal, con equipos y materiales de muestreo portátiles, posibilidad de realizar toma de muestras in- situ; representatividad, es importante que exista flujo de agua, que el cuerpo de agua este mezclado totalmente y que haya seguridad al momento de la toma de muestras, existan condiciones meteorológicas optimas, que no se evidencien amenazas por deslizamientos y contar con los equipos de seguridad y protección personal. Variables analizadas en la matriz de prioridades (ver anexo A).

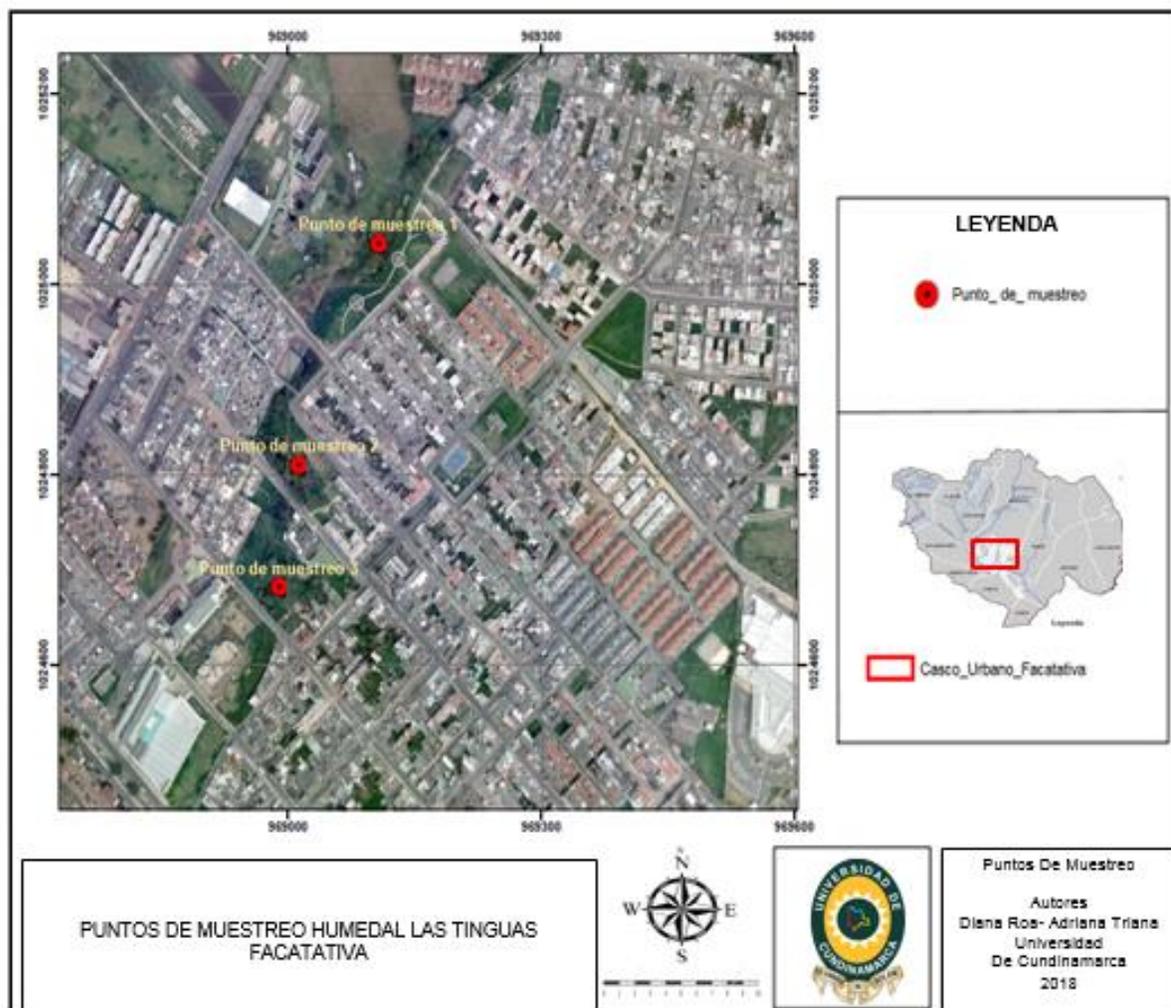
²⁹ MEZQUIDA, Raúl. Toma de muestras. CVS. V5, 2012.

Ilustración 3. Puntos de muestreo humedal El Manantial



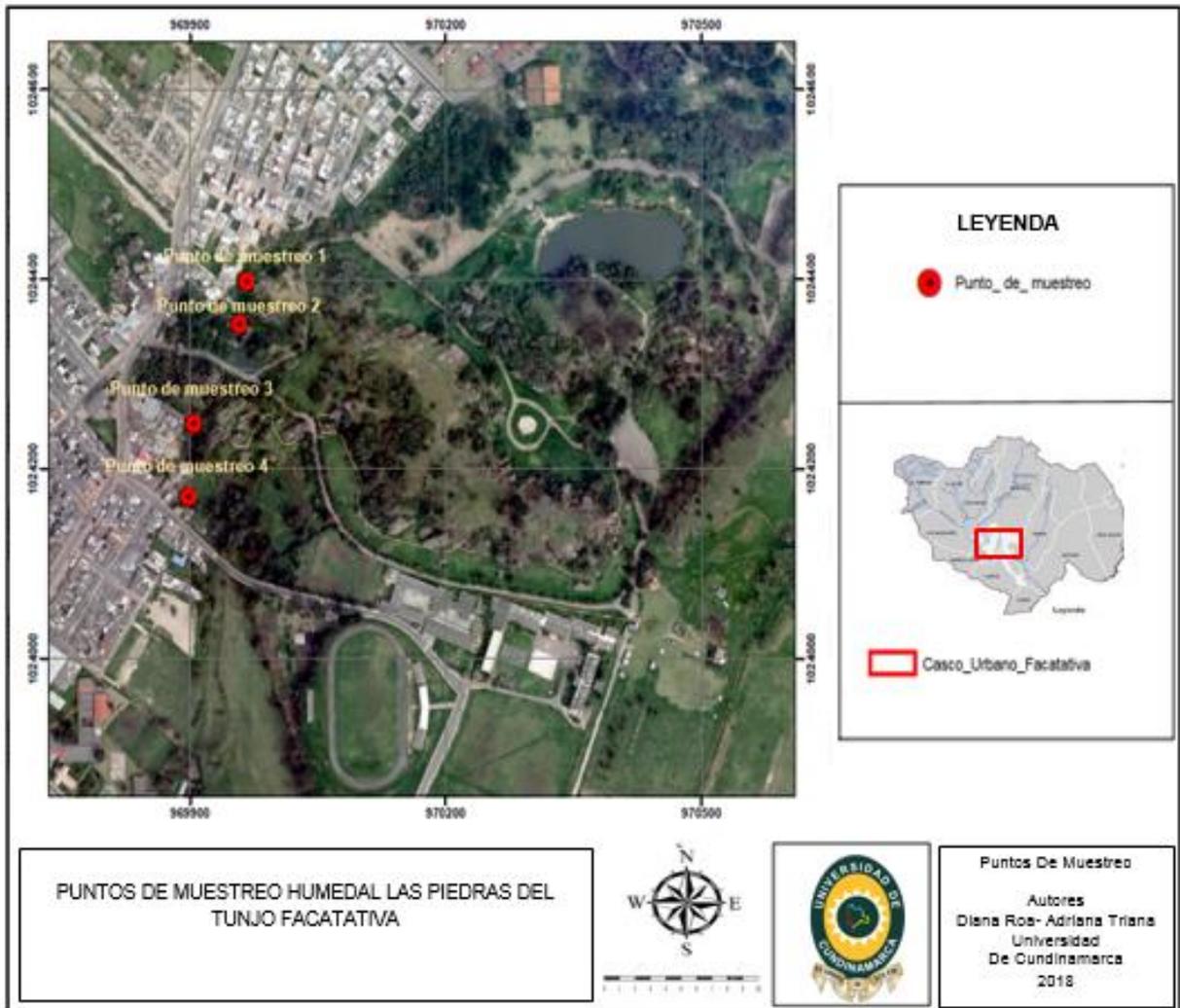
Fuente: Investigación propia

Ilustración 4. Puntos de muestreo humedal Las Tinguas



Fuente: Investigación propia

Ilustración 5. Puntos de muestreo humedal Las Tinguas



Fuente: Investigación propia

6.2.1 Parámetros Físico-químicos

En cada uno de los puntos de muestreo se midieron “in situ” los siguientes parámetros: temperatura del agua, pH y conductividad, mediante un equipo multiparametros marca Hanna (HI98129) y turbiedad con un turbidímetro portátil Hanna (HI93703), como se observa en la fotografía 1. Las muestras para análisis fisicoquímico se recolectaron superficialmente y contra corriente, se envasaron en recipientes de vidrio debidamente desinfectados, de un litro de capacidad y posteriormente se rotularon y preservaron en nevera refrigerada hasta el transporte al laboratorio Ambiental Acreditado ANALQUIM LDTA, según los parámetros del standard methods.

➤ pH

Respecto al pH, se mide con un pH-metro, un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (generalmente de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ion de hidrógeno. El pH de un cuerpo de agua es un parámetro a considerar cuando se quiere determinar la especiación química y solubilidad de varias sustancias orgánicas e inorgánicas en el agua. Es un factor abiótico que regula los procesos biológicos mediados por enzimas (ej. fotosíntesis, respiración) y la disponibilidad de nutrientes esenciales que limitan el crecimiento microbiano en muchos ecosistemas. El rango de pH en la mayor parte de los cuerpos de agua dulce no contaminados oscila entre 6.0 y 8.5, según el RAS 2000. El pH del agua es generalmente controlado por el sistema amortiguador de ácido carbónico.

➤ Conductividad

La conductividad se define como la facilidad con que una corriente eléctrica pasa a través del agua. La conductividad da una idea del contenido total de sales en el agua. Cuanto más elevada sea la conductividad mayor será el contenido en sales. Las unidades de medida más frecuentes son milisiemens por centímetro (mS/cm) y microsiemens por centímetro ($\mu\text{S/cm}$). $1 \text{ mS/cm} = 1000 \mu\text{S/cm}$.

➤ Turbidez

Es una medida de la dispersión de la luz por el agua como consecuencia de la presencia en la misma de materiales suspendidos coloidales y/o particulados. La presencia de materia suspendida en el agua puede indicar un cambio en su calidad (por ejemplo, contaminación por microorganismos) y/o la presencia de sustancias inorgánicas finamente divididas (arena, fango, arcilla) o de materiales orgánicos.

Teniendo en cuenta que cuando se habla de turbidez en agua potable se tiene un valor máximo aceptable de 2 NTU según la resolución 2115.

➤ **DQO**

La demanda química de oxígeno DQO Es la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en el agua sin la intervención de los organismos vivos. Efectúa la determinación del contenido total de materia orgánica oxidable, sea biodegradable o no. Su determinación permite además calcular las descargas de los efectos de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.

➤ **DBO₅**

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) Permite determinar la materia orgánica biodegradable. Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica presente, por la acción bioquímica aerobia. Esta transformación biológica precisa un tiempo superior a los 20 días, por lo que se ha aceptado, como norma, realizar una incubación durante 5 días, a 20°C, en la oscuridad y fuera del contacto del aire, a un pH de 7-7.5 y en presencia de nutrientes y oligoelementos que permitan el crecimiento de los microorganismos. A este parámetro se le denomina DBO₅.

Las aguas naturales no contaminadas poseen por lo general bajas concentraciones de materia orgánica disuelta (menos de 2 mgO₂/L).

Fotografía 1. Toma de muestras



Fuente: Investigación propia.

6.3 EVALUACIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES

6.3.1 RECARGA DE ACUÍFEROS

Esta función se cumple cuando el agua desciende desde el humedal hacia los acuíferos subterráneos. El agua llega usualmente al acuífero más limpia que cuando comenzó a filtrarse desde el humedal, ya en el acuífero, se le puede extraer para consumo, o puede correr lateralmente bajo tierra hasta que alcance la superficie de otro humedal en forma de descarga. Así la recarga de un humedal está ligada a la descarga de otro. La recarga también es importante para el almacenamiento de agua de inundación. Lo que contribuye a la prevención de inundaciones, ya que el agua se almacena temporalmente bajo tierra, en lugar de correr rápidamente río abajo y desbordarse.

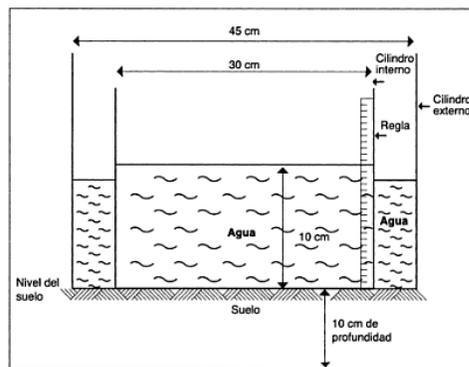
Para el presente trabajo se quiere saber si los tres humedales objeto de estudio brindan el servicio de recarga de acuíferos, por lo cual es necesario realizar una serie de pruebas, como ensayo de infiltración en el suelo y la determinación de las propiedades físicas del suelo.

6.3.1.1 Medición de la infiltración en el suelo (método de doble anillo)

El método consiste en la saturación de una porción de suelo limitada por dos anillos concéntricos, con el fin de medir la variación del nivel del agua en el cilindro interior (Ilustración 6). Aunque al inicio del ensayo, el suelo está seco o parcialmente húmedo y por lo tanto se presentan condiciones de no saturación, los valores inicialmente muy elevados irán descendiendo con gran rapidez como consecuencia de la presión ejercida por la columna de agua, cuanto mayor sea ésta (Ilustración 7). El tiempo que transcurra hasta alcanzarse las condiciones finales de saturación dependerá de la humedad previa, la textura y la estructura del suelo, el espesor del horizonte por el que discurre el agua, y la altura del agua en el anillo interior.³⁰ El tiempo de saturación será menor cuando:

- Mayor sea la humedad previa del suelo.
- El tamaño individual de las partículas de suelo (textura).
- La cantidad y estabilidad de los agregados del suelo (estructura).
- La altura de la lámina de agua en el anillo interior.

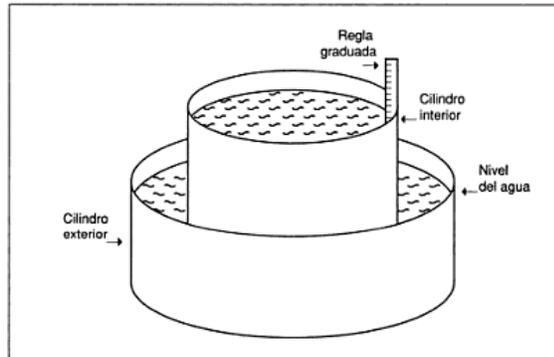
Ilustración 6. Dimensiones, instalación y toma de los cilindros infiltrómetros



Fuente: Valverde, 2007

Ilustración 7. Cilindros infiltrómetros ubicados en el campo

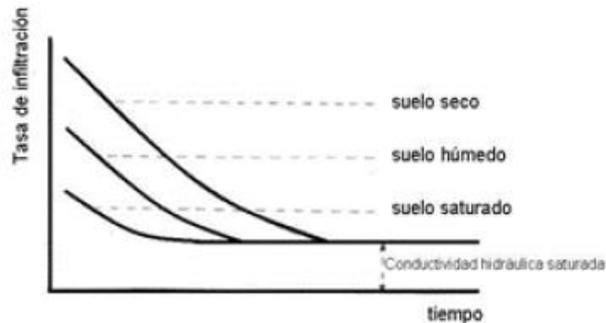
³⁰ VALVERDE, Juan Carlos. Riego y drenaje. San José, Costa Rica. Editorial universidad a distancia, 2007



Fuente: Valverde, 2007.

La tasa o velocidad de infiltración es la velocidad con la que el agua penetra en el suelo a través de su superficie. Normalmente es expresada en mm/h y su valor máximo coincide con la conductividad hidráulica del suelo saturado, como se observa en la ilustración 8.³¹

Ilustración 8 Tasas de infiltración según estado del suelo



Fuente: Pizarro, 2016.

El método original desarrollado por Munz parte de la idea de que colocados los dos anillos y obtenida la situación de saturación, la diferencia de nivel del agua (H) en los anillos interior y exterior provoca un flujo de agua que será de entrada hacia el anillo interior si la altura es mayor en el tubo exterior, o de salida si es inferior. En cualquier caso, además de la componente del flujo de agua QH debido a la diferencia de nivel H entre los dos anillos, el agua abandona ambos cilindros por la superficie del suelo en el que están instalados como consecuencia de su porosidad.

³¹ PIZARRO, Roberto. Medición de la infiltración en el suelo mediante infiltrómetros doble anillo. México. EIAS, 2016.

Por tanto, el flujo neto que abandona (o penetra en su caso) el anillo interior es en realidad el resultado de dos componentes: la componente debida a la diferencia de nivel de agua en los anillos, el “leakage”; y la componente debida a la capacidad de absorción del suelo, la infiltración. De otra parte, si $H=0$ entonces el flujo en el tubo interior se debe únicamente a la absorción del suelo, siendo éste precisamente el propósito de esta técnica. El anillo exterior también tiene como función el evitar la infiltración horizontal del agua por debajo del cilindro interior, de tal forma que las medidas se correspondan con seguridad al flujo vertical.³²

Procedimiento

<p>Limpiar el lugar donde se instalarán los cilindros; para que no se impida el flujo normal del agua.</p>	
<p>Enterrar el anillo aproximadamente 10 cm de la forma más vertical. Martillar con fuerza los bordes.</p>	
<p>Colocar la cinta métrica verticalmente en el interior del anillo para medir el nivel del agua.</p>	

³² VÉLEZ, M.; VÉLEZ, J. Módulo 3. Curvas de infiltración. UNAL. Colombia, 2014.

<p>Colocar un plástico en el interior del anillo y vaciar el agua suavemente hasta que el nivel de agua esté entre 8-10 cm.</p>	
<p>Registrar el tiempo que tarda el agua en infiltrarse. Se deben tomar mediciones cada minuto. Las mediciones se toman al menos por 20 minutos, o hasta que tres mediciones sucesivas sean iguales o muy parecidas.</p>	

Memoria de cálculo

La capacidad de infiltración se obtiene del cociente entre la cantidad de agua infiltrada y el intervalo de tiempo; $I = \text{Variación de altura} / \text{Variación de tiempo}$. El promedio de infiltración se determina con los tres valores más bajos de velocidad, con el fin de asumir un criterio conservador.³³ Para determinar la velocidad de infiltración se emplea la fórmula siguiente:

$$I = \frac{\Delta h * 60}{\Delta t}$$

Donde:

I : velocidad de infiltración en mm/hora

Δh : diferencia de altura de agua (mm)

Δt : diferencial de tiempo (min)

Ecuación de la velocidad de infiltración instantánea.

Ecuaciones:

$$1. A = \frac{a}{B} \text{ y } B = b + 1$$

$$2. I = at^b$$

$$3. tb = -10 * b$$

$$4. Ib = a * tb^b$$

³³ DELGADILLO, Oscar; PÉREZ, Luis. Medición de la infiltración del agua en el suelo. Bolivia. PNC, 2016.

6.3.1.2 Propiedades físicas del suelo

6.3.1.2.1 Toma de muestras de suelo

Para el presente estudio se tomaron muestras de tipo compuesta, para lo cual se toma una mezcla de varias submuestras, obtenidas a partir de la toma en distintos sitios representativos, con el fin de obtener información más precisa. Teniendo en cuenta que los lugares de muestreo no se encuentran a orillas de cercas o caminos y haya presencia de fertilizantes u otros agentes químicos, lo cual no permitirá que la muestra arroje valores reales.³⁴

➤ Muestra directa

Procedimiento

<p>Remover aproximadamente 3 cm de la superficie del terreno en cada punto, para eliminar los residuos frescos de materia orgánica y otros elementos.</p>	
<p>Introducir el barreno haciéndolo girar hacia la derecha. El barreno tiene la capacidad de tomar la muestra en los 0 – 20cm de suelo.</p>	

³⁴ CORPOICA. Guía de toma de muestras de suelo. Colombia. 2013.

<p>Depositar la muestra de suelo en bolsa plástica. Repetir la operación hasta obtener aproximadamente 1 Kg de muestra de suelo.</p>	
<p>Poner la muestra en una bandeja plástica de secado, rotular la bandeja y dejarla al aire por tres o más días hasta que la muestra de suelo se seque.</p>	

➤ **Muestra inalterada**

Es aquella que se toma sin modificar la estructura interna del suelo; es indispensable contar con un barreno y los anillos biselados para este muestreo.

Procedimiento

<p>Introducir el anillo biselado dentro del cilindro del barreno cuidando que el bisel quede hacia abajo</p>	
<p>En el sitio de muestreo disponer el barreno en forma perpendicular al suelo, introducirlo lo más recto posible.</p>	

Retirar el barreno cuidadosamente y retirar el anillo, tapar el anillo por ambos lados sin hacer presión o compactación sobre la muestra.



Las muestras directas se emplearán para la realización de las prácticas de contenido de humedad gravimétrica, estructura del suelo por método de granulometría y textura del suelo método del tacto. Mientras que las muestras inalteradas se usaran en las prácticas de porosidad y permeabilidad ex – situ del suelo. Dados los requerimientos de cada una de las pruebas en el laboratorio.

6.3.1.2.1 Práctica contenido de humedad gravimétrico

➤ Método gravimétrico

El método gravimétrico es el único método directo de medición de la humedad del suelo. Dicho método consiste en tomar una muestra de suelo, pesarla antes y después de su desecado y calcular su contenido de humedad. La muestra de suelo se considera seca cuando su peso permanece constante a una temperatura de 105°C. Sin embargo, no puede usarse para obtener un registro continuo de la humedad del suelo de un lugar determinado, porque es necesario extraer muestras del suelo para su análisis en el laboratorio.³⁵

Conocer el valor de la humedad para cada suelo de los tres humedales objeto de estudio, es muy útil al momento de realizar la prueba de infiltración.

³⁵ IDEAM. Medición de la humedad del suelo. Bogotá. 2014. Cap. 15.

Procedimiento

<p>Pesar 10 g de suelo secado al aire.</p>	
<p>Pesar una cápsula de aluminio vacía.</p>	
<p>Colocar el suelo en la capsula y llevarla a la estufa de secado por 24 h a una temperatura de 105° C.</p>	
<p>Permitir que la muestra se enfríe en un desecador, para evitar que la muestra vuelva a incorporar agua.</p>	



Memoria de cálculo

$$\% \text{ de agua} = \frac{\text{PHS} - \text{PSS}}{\text{PSS}} * 100$$

Dónde:

PHS = peso del suelo secado al aire

PSS = peso del suelo secado a 105° C

PSSa = peso suelo seco más accesorio

PHSa = peso del suelo húmedo más accesorios

6.3.1.2.2 Práctica estructura del suelo por método de granulometría

➤ Estructura del Suelo

Las partículas texturales del suelo como arena, limo y arcilla se asocian para formar agregados. La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. El agua es el componente elemental que afecta la estructura del suelo, con mayor importancia debido a su disolución, precipitación de minerales y sus efectos en el crecimiento de las plantas.³⁶

³⁶ FAO. Tipos de estructuras del suelo más comunes. Portal de la FAO. 2017.

Procedimiento

<p>Tomar una muestra de aproximadamente 200 g de suelo en el campo, húmeda, pero no mojada.</p>	
<p>Secar la muestra a temperatura ambiente durante 3 o 4 días.</p>	
<p>Tomar unos 170 g de suelo seco al aire y retirar los trozos de materia orgánica y piedras.</p>	
<p>Cernir la muestra a través de un conjunto de tamices, haciendo movimientos helicoidales con ellos.</p>	
<p>Recuperar el material retenido en cada tamiz y secar al horno durante 24 a 36 horas a 105°C.</p>	

<p>Pesar seco al horno y calcular el porcentaje de agregados en cada tamiz con respecto al peso total de la muestra utilizada.</p>	
--	---

Memoria de cálculo

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{peso retenido en tamiz}}{\text{peso muestra total}} * 100$$

$$\% \text{ acumulado} = \% \text{ retenido1} + \% \text{ retenido2}$$

$$\% \text{ pasa} = 100 - \% \text{ retenido1}$$

Para la graduación de un suelo se emplea el coeficiente de curvatura:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} D_{60}}$$

Donde:

Cc: Coeficiente de curvatura.

$D_x [mm]$: Diámetro tal que el i [%] del suelo pasa por la malla.

Coeficiente de uniformidad:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

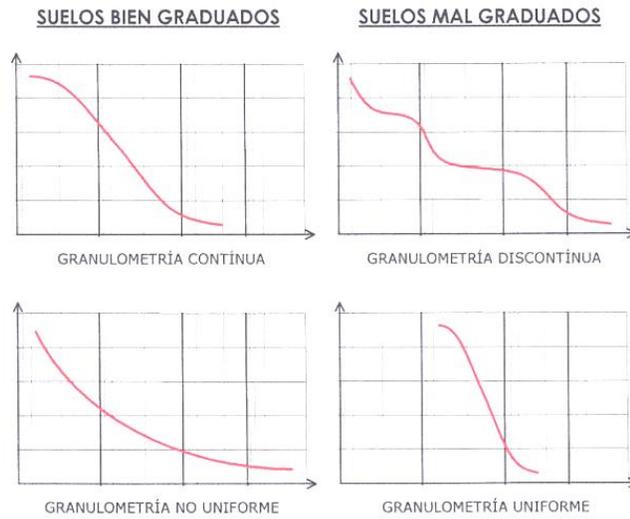
Dónde:

Cu: Coeficiente de uniformidad

$D_x [mm]$: Diámetro tal que el i [%] del suelo pasa por la malla.

Según este coeficiente, un suelo que arroje valores inferiores a 2 se considera muy uniforme, mientras que un coeficiente inferior a 5 define un suelo uniforme. De la siguiente manera:

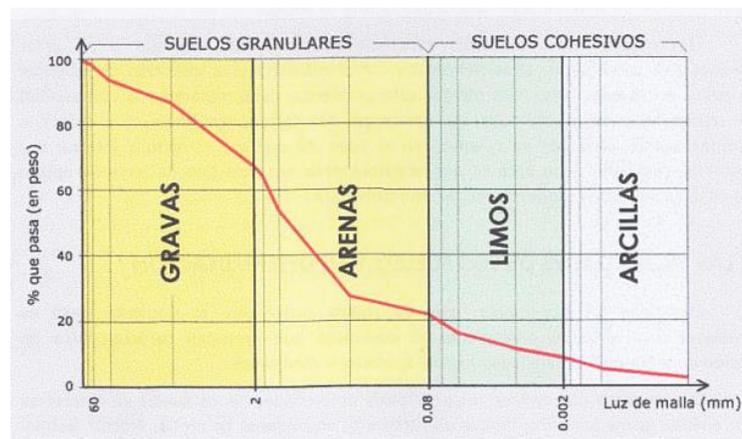
Ilustración 9. Interpretación de la curva granulométrica



Fuente: Universidad del Cauca, mecánica de suelos

Para el análisis de las curvas granulométricas es necesario tener en cuenta que los agregados debido a su tamaño pueden quedar distribuidos así: las gravas retenidas en aberturas de 60 a 2 mm, las arenas en aberturas de 2 a 0.08 mm, los limos en las aberturas de 0.08 a 0.002 mm y las arcillas después de la abertura de 0.002 mm (ilustración 10.).

Ilustración 10. Curva granulométrica del suelo



Fuente: Universidad del Cauca, mecánica de suelos

6.3.1.2.3 Práctica textura del suelo método del tacto

Textura del suelo

Se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades.³⁷

Procedimiento

<p>Cernir aproximadamente 100 g de muestra seca al ambiente.</p>	
<p>Prueba del lanzamiento de la bola: Tomar una muestra de suelo humedecido y oprimirla hasta formar una bola. Lanzar la bola al aire hasta unos 50 cm aproximadamente y dejar caer. Observar que sucede con la forma de la bola.</p>	
<p>Prueba Compresión de la Bola: Tomar la muestra de suelo, y humedecerla hasta hacerla compacta, luego oprimir con fuerza y abrir la mano, si se mantiene la forma de la mano es un suelo con arcilla, si no se mantiene es un suelo arenoso.</p>	

³⁷ FAO. Guía para la descripción de suelo. 4ª edición, 2006.

<p>Prueba de la botella: Colocar 5 cm de suelo en un vaso de precipitado y llenarlo de agua. Agitar bien y dejarla reposar durante una hora. Medir la profundidad de la arena, el limo y la arcilla y calcular la proporción aproximada de cada uno.</p>	
<p>Prueba de la bola de barro: Tomar la muestra, humedecerla, y amasarla hasta que tenga unos 3 cm de diámetro, lanzarla a una pared y si se adhiere a la pared o no se puede definir la textura del suelo.</p>	
<p>Sacudimiento de la bola: Se humedece el suelo y se forma una bola de 3 a 5 cm de diámetro, se sacude rápidamente de un lado a otro sobre la palma de la mano, si la bola se puede romper fácilmente es un suelo arenoso, si la bola ofrece un poco de resistencia es un suelo limoso o franco arcilloso, si la bola ofrece alta resistencia es un suelo arcilloso o arcilloso limoso.</p>	
<p>Desmenuzamiento en seco: Tome una muestra pequeña de suelo seco en la mano. Desmenúcela entre los dedos y observar que tanta resistencia ofrece la muestra.</p>	

<p>Prueba de Manipulación: Tomar una muestra de suelo, mójela un poco en la mano. Amasar la muestra de suelo hasta que forme una bola de unos 3 cm de diámetro, dejar caer la bola. Si se desmorona es arena sino; si no; amase la bola en forma de un cilindro de 6 a 7 cm, de longitud, si no mantiene esa forma, es arenoso franco.</p>	
<p>Prueba de sacudimiento: Tomar una muestra de suelo; mojarla bien y moldear una masa de unos 8 cm de diámetro y 1,5 cm de espesor. Observar lo que sucede con la masa luego dejarla secar y mirar si se desmorona.</p>	

6.3.1.2.4 Practica porosidad del suelo

Porosidad del Suelo

Es la propiedad que define la porción de espacios o cavidades vacíos llamados poros, ocupados por aire, agua y nutrientes que pueden circular o retenerse. Dicha propiedad está ligada a la textura y estructura del suelo. Los poros del suelo se clasifican en: macroscópicos, dichos poros están llenos de aire, no retienen el agua pues lo atraviesa de modo rápido, impulsada por la fuerza de gravedad y los microscópicos, estos poros retienen el agua por las fuerzas capilares.³⁸

³⁸ FAO. Porosidad del suelo. Portal de suelos de la FAO. 2017.

Procedimiento

<p>Colocar en la balanza una probeta de 50 ml y registrar su peso.</p>	
<p>Agregar una muestra de suelo seca a la probeta a una medida de 50 ml.</p>	
<p>Registrar el peso de la probeta con la muestra de suelo seco.</p>	
<p>Agregar agua a la probeta hasta que esta llegue al enrase con el suelo.</p>	

<p>Registrar nueva mente el peso de la probeta.</p>	
---	---

Memoria de cálculo

$$Ve = m_{H_2O} * \rho_{H_2O}$$

$$P = \frac{Ve}{V} * 100$$

Donde:

P = porosidad.

Ve = volumen de espacios vacíos, comprendiendo los que están ocupados por gases o líquidos.

V = volumen total de la muestra, comprendiendo sólidos, líquidos y gases

6.3.1.2.5 Practica permeabilidad del suelo ex - situ

Los suelos en su condición natural, contienen pequeñas cantidades de aire ocluido en sus poros. Es así como las muestras llevadas al laboratorio contienen mayores cantidades de aire, debido a que el suelo lo adquiere con facilidad. El estudio de la permeabilidad en el laboratorio mediante métodos, bien sea in-situ o ex-situ, permite obtener el coeficiente de permeabilidad (k), el cual se relacionará con las condiciones de drenaje y el tipo de suelo a analizar (ilustración 11).³⁹

³⁹ ANGELONE, S; GARABAY, Permeabilidad del suelo. Bogotá. Universidad del Rosario, 2006.

Ilustración 11. Valores de coeficiente de permeabilidad

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (cm/seg)	TERMINO
$<10^{-2}$	Muy alto
$10^{-2} - 10^{-4}$	Alto
$10^{-4} - 10^{-5}$	Moderadamente
$10^{-5} - 10^{-7}$	Poco
$10^{-7} - 10^{-9}$	Muy poco
$>10^{-9}$	Impermeable

Fuente: Gonzales, V.L (2002).

Procedimiento

Colocar el papel filtro en el embudo	
Agregar la muestra de suelo al embudo y medir el volumen de muestra.	
Adicionar 100 ml de agua	

Medir el tiempo que transcurre hasta que el agua descienda por la muestra y anotar el volumen de agua escurrido.



Memoria de cálculo

$$K = \frac{V * L}{H * A * t}$$

Donde:

V= volumen drenada.

L= distancia en el interior de la muestra.

H= perdida de la carga hídrica.

A= área de la muestra.

t= tiempo necesario para que el agua atraviese la muestra.

K= coeficiente de permeabilidad.

6.3.2 SERVICIO DE RETENCIÓN DE NUTRIENTES

Para determinar el servicio de retención de nutrientes es necesario conocer la cantidad de fosforo y nitratos presentes en el ecosistema. Para el presente trabajo se determinaron los nutrientes retenidos por los humedales, El Manantial, Las Piedras del Tunjo y Las Tinguas, mediante las técnicas desarrolladas por el laboratorio ambiental ANALQIM LTDA. Las cuales son, para Fósforo Total (TP): colorimétrica por flujo continuo segmentado (CFA), método descrito por Koroleff (1977) para una digestión con UV, fue adaptado por Seal Analytical a un sistema integrado de digestor con CFA (2008). Este método somete a la muestra a un proceso previo y continuo de digestión de dos etapas en autoclave a 110 °C y alta presión (0,09 MPa). En la primera etapa se añade un agente oxidante de persulfato

alcalino y, en la segunda etapa, se añade un ácido inorgánico. Una vez digerido el fosforo, se determina por colorimetría previa reacción con molibdato y reducción con ácido ascórbico, de manera que el complejo azul de molibdeno final es detectado en el interior de un fotómetro a 800 nm.⁴⁰

En el caso de la determinación de Nitrógeno en forma de nitrato, se realizó mediante el método 4500- NO_3B propuesto en el Standard Methods (APHA, 1998), midiendo la absorbancia de la muestra a 220 y 275 nm en un espectrofotómetro. La medida se realiza frente a un patrón en un intervalo de concentración entre 0-17 mg NO_3/L .⁴¹

6.3.3 SERVICIO DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS

Para determinar el servicio de retención de sedimentos es necesario conocer la cantidad de sólidos sedimentables y sólidos totales en el cuerpo de agua. Para el presente trabajo se utilizaron las técnicas del IDEAM 2013: sólidos sedimentados por medio del cono imhoff y sólidos totales secados a 103 – 105 °C.

6.3.3.1 Prueba de sólidos sedimentados por medio del cono imhoff

La prueba del cono imhoff, consiste en determinar el volumen de las partículas sólidas que se depositan por la fuerza de la gravedad en un recipiente donde el líquido permanece inmóvil durante 60 minutos.⁴²

Procedimiento

<p>Colectar un volumen de muestra homogéneo y representativo superior a 1 L, teniendo siempre en cuenta que el material en suspensión no debe adherirse a las paredes del recipiente.</p>	
---	--

⁴⁰ ICM. Análisis de nutrientes. Barcelona. Passeig Maritim de la Barceloneta.2015.

⁴¹ APHA. Standard Methods for the Examination. Washington. American Public Health Association, 2001.

⁴² IDEAM. Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales. Bogotá. Subdirección de Hidrología. V3, 2007.

<p>Mezclar la muestra original a fin de asegurar una distribución homogénea de sólidos suspendidos.</p>	
<p>Colocar la muestra en el cono Imhoff hasta la marca de 1 L. Dejar sedimentar 45 min, una vez transcurrido este tiempo agitar.</p>	
<p>Mantener en reposo 15 min más y registrar el volumen de sólidos sedimentables del cono como mL/L.</p>	

6.3.3.2 Prueba sólidos totales secados a 103 – 105° C

Los sólidos totales se definen como la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103 - 105 °C. El valor de los sólidos totales incluye materias disueltas (sólidos disueltos totales: porción que pasa a través del filtro) y no disuelto (sólidos suspendidos totales: porción de sólidos totales retenidos por un filtro).⁴³

⁴³ IDEAM. Solidos totales secados a 103 – 105°C. 2007.

Procedimiento

Recolectar la muestra de tal forma que no contenga partículas flotantes. Utilizar frascos de vidrio para recolectar 2000 mL aproximadamente.



Secar la cápsula en el horno precalentado a 105°C durante 2 horas, llevar la cápsula a un desecador y dejar enfriar, como mínimo, durante 2 horas. De esta forma se asegura el peso inicial constante de la cápsula.



Pesar y registrar el peso de la cápsula vacía.



<p>Agitar la muestra invirtiendo el recipiente varias veces, tomar rápidamente una alícuota, y transferirla a la cápsula correspondiente, registre el volumen.</p>	
<p>Colocar la cápsula para secado a baño de maría precalentado a la temperatura de ebullición del agua.</p>	
<p>Cuando la capsula se haya secado totalmente, llevarla al Horno a 105°C, durante 2 horas.</p>	
<p>Llevar la cápsula a un desecador y dejar enfriar aproximadamente por 2 horas, hasta temperatura ambiente.</p>	
<p>Pesar y registrar el peso de la cápsula</p>	

Memoria de cálculos

Una vez obtenidos los resultados en el laboratorio, se empelará la siguiente fórmula:

$$ST = \frac{(B - A)1000}{V}$$

Donde:

ST: Sólidos Totales, en mg/L

A: Peso final de la cápsula con el residuo seco.

B: Peso inicial de la cápsula tarada en gramos.

V: Volumen de muestra desecada, en litros.

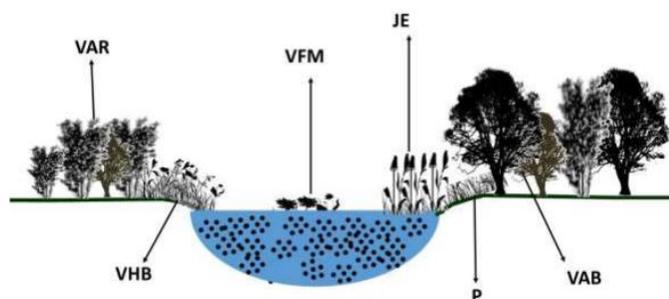
6.3.4 CAPTURA DE CARBONO

Para evaluar este servicio, se seleccionó la vegetación, dado que es el primer agente encargado de capturar el carbono en los humedales es la vegetación, la cual mediante el proceso de la fotosíntesis transforma el carbono en oxígeno. En comparación con el suelo, que es el segundo en almacenar carbono, el cual se convierte en metano, y puede llegar a ser liberado por la degradación del suelo y de ecosistemas.

6.3.4.1 Selección de especies vegetales

Para la presente investigación se tomó como línea base de información, dos estudios realizados por parte de la fundación ALMA en colaboración con la CAR (2007). Donde se tiene en cuenta la caracterización de la vegetación de los humedales, mediante muestreos tanto de vegetación terrestre como de macrófitas, identificándose los principales tipos de vegetación asociada VAR= Vegetación Arbustiva de Borde, VHB= Vegetación Herbácea de Borde, VFM= Vegetación flotante / macrófitas, JE= Juncuales / Eneas, P= Pastizales, VAB= Vegetación Arbórea de Borde e identificándose las especies que las integran, como se observa en la ilustración 12.

Ilustración 12. Perfil de las principales formaciones vegetales de humedales.



Fuente: Fundación ALMA, 2017. Convenio de Cooperación No. 1652 de 2016, Corporación Autónoma Regional – Fundación ALMA

Dentro de la metodología empleada por la fundación ALMA, se encuentra la realización de transectos, con el fin de identificar las especies, la abundancia y el porcentaje de cobertura.

Para el caso del humedal Las Tinguas, las especies presentes en los tres fragmentos Tinguas 1, Tinguas 2, Tinguas 3, se muestran resaltadas en la ilustración 13.

Ilustración 13. Listado de especies de plantas registradas para el Humedal Las Tinguas

Familia	Especie	Nombre común	Hábito	Sector
Adoxaceae	<i>Sambucus nigra</i>	Sauco	Terrestre	T1, T2, T3
Acanthaceae	<i>Thunbergia alata</i>	Ojo de poeta	Terrestre	T1
Apiaceae	<i>Conium maculatum</i>	Cicuta	Terrestre	T1, T3
Araceae	<i>Lemna gibba</i>	Lenteja de agua	Hidrófila	T1, T2
Araliaceae	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Sombrilla de agua	Hidrófila	T1
Asteraceae	<i>Bidens leavis</i>	Botoncillo	Hidrófila	T1, T2
	<i>Conyza bonariensis</i>	Rama negra	Terrestre	T2
	<i>Smallanthus pyramidalis</i>	Arboloco	Terrestre	T2
	<i>Cirsium vulgare</i>	Cardo	Terrestre	T1
	<i>Sonchus oleraceus</i>	Cerraja	Hidrófila	T1
Bignoniaceae	<i>Tecoma stans</i>	Chicala	Terrestre	T2
Cucurbitaceae	<i>Cucurbita pepo</i>	Calabaza	Terrestre	T1, T3
Euphorbiaceae	<i>Croton funcckianus</i>	Sangregado	Terrestre	T3
Fabaceae	<i>Acacia decurrens</i>	Acacia amarilla	Terrestre	T1,T2
Flacourtiaceae	<i>Abatia parviflora</i>	Duraznillo	Terrestre	T2
Meliaceae	<i>Cedrela montana</i>	Cedro	Terrestre	T2
Myrtaceae	<i>Myrcianthes leucoxylla</i>	Arrayán	Terrestre	T1, T2
	<i>Zirsigium paniculatum</i>	Eugenia	Terrestre	T2
Onagraceae	<i>Fuchsia boliviana</i>	Zarcillejo	Terrestre	T1, T2
Papaveraceae	<i>Bocconia frutescens</i>	Trompeto	Terrestre	T1
Phytolaccaceae	<i>Phytolacca bogotensis</i>	Guaba	Terrestre	T1
Pittosporaceae	<i>Pittosporum undulatum</i>	Jazmín del cabo	Terrestre	T2
Poaceae	<i>Holcus lanatus</i>	Pasto lanudo	Terrestre	T2
	<i>Pennisetum clandestinum</i>	Kikuyo	Terrestre	T1, T2, T3
Podocarpaceae	<i>Decussocarpus rospigkiosii</i>	Pino romerón	Terrestre	T2
Polygonaceae	<i>Rumex conglomeratus</i>	Lengua de vaca	Hidrófila	T1, T2
	<i>Polygonum punctatum</i>	Barbasco	Hidrófila	T1, T2, T3
Hydrocharitaceae	<i>Limnobium leavigatum</i>	Buchón cucharita	Macrófita	T1, T2
Rosaceae	<i>Cotoneaster pannosus</i>	Holly	Terrestre	T1, T2
Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce llorón	Terrestre	T1, T2, T3
	<i>Salix viminalis</i>	Mimbre	Hidrófila	T2
Solanaceae	<i>Physalis peruviana</i>	Uchuva	Terrestre	T1
	<i>Solanum americanum</i>		Terrestre	T1,T2
	<i>Brugmansia alba</i>	Cacao sabanero	Terrestre	T2, T3
Tropaeolaceae	<i>Tropaeolum majus</i>	Capuchina	Terrestre	T1
Typhaceae	<i>Typha latifolia</i>	Enea	Hidrófila	T1, T2
Verbenaceae	<i>Citharexylum subflavescens</i>	Cajeto	Terrestre	T1, T2

Fuente: Fundación ALMA, 2017. Convenio de Cooperación No. 1652 de 2016

Obteniéndose en total el registro de 27 familias y 37 especies entre vegetación hidrófila y terrestre. La vegetación enraizada de ribera, estuvo representada por un 15% para el *Polygonum punctatum* (Barbasco) y respecto a la vegetación arbustiva y arbórea se registraron en total 17 especies correspondientes a 12 familias. Dentro de estas, se encontró que *Salix humboldtiana* (Sauce llorón) fue la especie más frecuente con un 60%, además de ser la especie de mayor altura respecto a las demás especies (Ilustración 14).

Ilustración 14. Altura en metros de cada especie



Fuente: Fundación ALMA, 2017. Convenio de Cooperación No. 1652 de 2016, Corporación Autónoma Regional – Fundación ALMA

En el caso del humedal Las Piedras del Tunjo, las especies presentes en los cuatro fragmentos, se muestran resaltadas en la ilustración 15.

Ilustración 15. Listado de especies de plantas registradas para el Humedal Las Piedras del Tunjo

Familia	Especie	Nombre común	Hábito	Origen
Adoxaceae	<i>Sambucus nigra</i>	Sauco	Terrestre	Introducido
Araceae	<i>Lemna gibba</i>	Lenteja de agua	Hidrófila	Introducido
Araliaceae	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Sombrilla de agua	Hidrófila	Nativo
	<i>Oreopanax floribundum</i>	Mano de oso	Terrestre	Nativo
Asteraceae	<i>Bacharis latifolia</i>	chilco	Terrestre	Nativo
	<i>Bidens leavis</i>	Botoncillo	Hidrófila	Nativo
	<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de león	Terrestre	Introducido
	<i>Smallanthus pyramidalis</i>	Arboloco	Terrestre	Nativo
	<i>Sonchus oleraceus</i>	Cerraja	Terrestre	Introducido
Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Aliso	Terrestre	Nativo
Bignoniaceae	<i>Tecoma stans</i>	Chicala	Terrestre	Introducido
Commelinaceae	<i>Tradescantia fluminensis</i>	Suelda con suelda	Terrestre	Nativo
Cucurbitaceae	<i>Cucurbita pepo</i>	Calabaza	Terrestre	Nativo
	<i>Cyclanthera explodens</i>	Pepino	Terrestre	Nativo
Cyperaceae	<i>Cyperus rufus</i>	Cortadera	Hidrófila	Nativo
	<i>Schoenoplectes californicus</i>	Junco	Hidrófila	Nativo
Dennstaedtiaceae	<i>Pteridium aquilinum</i>	Helecho marranero	Terrestre	Nativo
Euphorbiaceae	<i>Croton funkianus</i>	Sangregado	Terrestre	Nativo
Fabaceae	<i>Acacia decurrens</i>	Acacia amarilla	Terrestre	Introducido
	<i>Acacia melanoxylum</i>	Acacia negra	Terrestre	Introducido
	<i>Senna viarum</i>	Alcaparro	Terrestre	Introducido
Hydrocharitaceae	<i>Limnobium laevigatum</i>	Buchón	Hidrófila	Nativo
Juglandaceae	<i>Juglans neotropica</i>	Nogal	Terrestre	Nativo
Myrtaceae	<i>Myrcianthes leucoxylla</i>	Arrayan	Terrestre	Nativo
Onagraceae	<i>Fuchsia boliviana</i>	Zarcillejo	Terrestre	Introducido
Papaveraceae	<i>Bocconia frutescens</i>	Trompeto	Terrestre	Nativo
Piperaceae	<i>Piper bogotense</i>	Cordoncillo	Terrestre	Nativo
Pittosporaceae	<i>Pittosporum undulatum</i>	Jazmín del cabo	Terrestre	Introducido
Poaceae	<i>Holcus lanatus</i>	Pasto lanudo	Terrestre	Nativo
	<i>Pennisetum clandestinum</i>	Kikuyo	Terrestre	Introducido
Poligonaceae	<i>Polygonum punctatum</i>	Barbasco	Hidrófila	Nativo
	<i>Rumex conglomeratus</i>	Lengua de vaca	Terrestre	Nativo
Rosaceae	<i>Rubus floribundus</i>	Mora silvestre	Terrestre	Nativo
	<i>Rubus glauca</i>	Mora de castilla	Terrestre	Nativo
	<i>Cotoneaster pannosus</i>	Holly	Terrestre	Introducido
Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce llorón	Terrestre	Nativo
	<i>Salix viminalis</i>	Mimbre	Terrestre	Nativo
Sapindaceae	<i>Dodonea viscosa</i>	Hayuelo	Terrestre	Nativo
Solanaceae	<i>Physalis peruviana</i>	Uchuva	Terrestre	Nativo
	<i>Solanum sp.</i>	Tomatillo	Terrestre	Nativo

Fuente: Fundación ALMA, 2017. Convenio de Cooperación No. 1652 de 2016, Corporación Autónoma Regional – Fundación ALMA

La caracterización de las comunidades vegetales indicó que el humedal está compuesto por 25 familias y 41 especies.

La vegetación de ribera está representada mayormente por la especie *Polygonum punctatum* (Barbasco) con un 60% de la cobertura en la fase acuático-terrestre del humedal. Por su parte la vegetación arbustiva y arbórea registró en total 19 especies pertenecientes a 16 familias. El árbol que presentó una mayor altura promedio fue la especie introducida *Acacia melanoxyllum* (Acacia negra) y *Salix humboldtiana* (Sauce llorón).

Finalmente, en el humedal El Manantial, las especies representativas, se muestran resaltadas en la ilustración 16.

Ilustración 16. Listado de especies de plantas registradas para el Humedal El Manantial

Familia	Especie	Nombre común	Hábito	Origen
Adoxaceae	<i>Sambucus nigra</i>	Sauco	Terrestre	Introducido
Araliaceae	<i>Oreopanax floribundum</i>	Mano de oso	Terrestre	Nativo
Asteraceae	<i>Bacharis latifolia</i>	chilco	Terrestre	Nativo
	<i>Bidens leavis</i>	Botoncillo	Hidrófila	Nativo
	<i>Smallanthus pyramidalis</i>	Arboloco	Terrestre	Nativo
	<i>Sonchus oleraceus</i>	Cerraja	Terrestre	Introducido
Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Aliso	Terrestre	Nativo
Commelinaceae	<i>Tradescantia fluminensis</i>	Suelda con suelda	Terrestre	Nativo
Cucurbitaceae	<i>Cucurbita pepo</i>	Calabaza	Terrestre	Nativo
	<i>Cyclanthera explodens</i>	Pepino	Terrestre	Nativo
Cyperaceae	<i>Cyperus rufus</i>	Cortadera	Hidrófila	Nativo
	<i>Schoenoplectes californicus</i>	Junco	Hidrófila	Nativo
Dennstaedtiaceae	<i>Pteridium aquilinum</i>	Helecho marranero	Terrestre	Nativo
Euphorbiaceae	<i>Croton funkianus</i>	Sangregado	Terrestre	Nativo
Fabaceae	<i>Trifolium repens</i>	Trebol	Terrestre	Nativo
Juglandaceae	<i>Juglans neotropica</i>	Nogal	Terrestre	Nativo
Myrtaceae	<i>Myrcianthes leucoxylla</i>	Arrayan	Terrestre	Nativo
Papaveracea	<i>Bocconia frutescens</i>	Trompeto	Terrestre	Nativo
Piperaceae	<i>Piper bogotense</i>	Cordoncillo	Terrestre	Nativo
Poligonaceae	<i>Polygonum punctatum</i>	Barbasco	Hidrófila	Nativo
	<i>Rumex conglomeratus</i>	Lengua de vaca	Terrestre	Nativo
Rosaceae	<i>Rubus floribundus</i>	Mora silvestre	Terrestre	Nativo
	<i>Rubus glauca</i>	Mora de castilla	Terrestre	Nativo
Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce llorón	Terrestre	Nativo
	<i>Salix viminalis</i>	Mimbres	Terrestre	Nativo
Sapindaceae	<i>Dodonea viscosa</i>	Hayuelo	Terrestre	Nativo
Solanaceae	<i>Physalis peruviana</i>	Uchuva	Terrestre	Nativo
	<i>Solanum sp.</i>	Tomatillo	Terrestre	Nativo

Fuente: Fundación ALMA, 2017. Convenio de Cooperación No. 1652 de 2016, Corporación Autónoma Regional – Fundación ALMA

La vegetación en El Manantial, está compuesta por 18 familias y 26 especies. De las cuales 22 especies son de hábitos terrestres mientras que 4 son especies hidrófilas. Se encontró que *Salix humboldtiana* fue la especie más frecuente con un

59%. La vegetación enraizada de pantano y/o de ribera, estuvo representada por un estrato herbáceo, en el cual el 45% corresponde al *Polygonum punctatum*.

6.3.4.2 Prueba para la determinación de la captura de carbono: método Walkley y Black

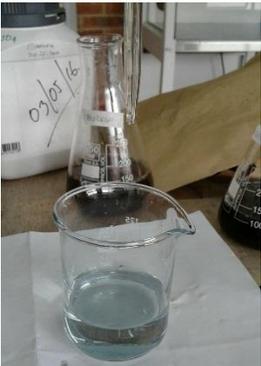
Una vez seleccionadas las especies a evaluar, se procede a determinar la cantidad de carbono que cada una de ellas captura, teniendo en cuenta las condiciones propias de cada humedal. La metodología seleccionada fue la propuesta por Amstrong Black y Allan Walkley (1934). En ella se propone tomar muestras de la biomasa aérea y de la parte radicular, sin embargo dada la ubicación e importancia de los humedales, no fue posible realizar un muestreo de la raíz de las especies.

Con la finalidad de estimar la captura de CO₂ atmosférico, se debe determinar el carbono acumulado en la estructura vegetal, específicamente en la parte aérea. La materia orgánica es oxidada con una mezcla de dicromato de potasio (K₂CrO₇) con ácido sulfúrico (H₂SO₄). El exceso de K₂CrO₇ es determinado por titulación con sulfato ferroso amoniacal (NH₄Fe)₂(SO₄)₃. Este método proporciona una estimación fácilmente oxidable de carbono orgánico y es usado como una medida de carbono orgánico total.

Procedimiento

<p>Tomar una sub-muestra registrando el peso fresco y colocándolo en una bolsa de papel correctamente identificada.</p>	
<p>Secar las muestras colectadas, en el horno a 75°C durante 24 horas, hasta obtener un peso constante.</p>	

<p>Registrar el peso seco luego de transcurridas las 24 horas.</p>	
<p>Triturar las muestras en un mortero de laboratorio, extrayendo 0.1 g de muestra.</p>	
<p>Llevar a un Erlenmeyer de 125 ml.</p>	
<p>Adicionar a la muestra 10 ml de solución dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 4N.</p>	

<p>Posteriormente agregar 10 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, mezclando para homogeneizar la solución.</p>	
<p>Dejar las muestras en reposo durante 2 a 3 horas.</p>	
<p>Enrasar a 100 ml con agua des ionizada (previamente hacer un blanco).</p>	

Titular con solución sulfato ferroso amoniacal 0.2N, agregando gotas de indicador difenil amina sulfúrica 1% (3 gotas/20 ml)



Memoria de cálculo

Factor de carbono

$$\% \text{ de materia orgánica} = Mx \frac{1.724x0.4xNsfa \times (Vb - vm)}{\text{peso de lamuesrta inicial gr.}}$$

$$Vb = \frac{V(K2Cr2O7)x Vsfa}{10}$$

Donde:

M es la molaridad de la solución de FeSO_4 ,

0.4 es el factor equivalente del peso del carbón,

Vb es el volumen de la solución ferrosa amoniacal requerida para el blanco (ml),

Vm es el volumen de la solución ferrosa amoniacal requerido para la muestra (ml),

$Nsfa$ es la Normalidad de la solución ferrosa amoniacal = $4/Vsfa$ bk (el volumen de la solución sulfato ferrosa amoniacal del blanco).

El peso seco de la biomasa, multiplicado por el factor porcentaje de carbono que se determinó previamente en el laboratorio, da como resultado el contenido total de carbono acumulado en la vegetación (en unidades de tC/ha). Este valor, multiplicado por el factor de conversión de carbono (44/12, la relación entre los

pesos moleculares del CO₂ y del C), da finalmente el contenido total de CO₂ atmosférico absorbido por la biomasa:

$$\text{CO}_2 \text{ atmosférico absorbido [tCO}_2\text{/ha]} = (44/12) \times \text{C total en plantas [tC/ha]}$$

6.3.5 VALORACIÓN ECONÓMICA

6.3.5.1 Método de valoración contingente

El objetivo del método de valoración contingente es encontrar la valoración económica de aquellos bienes y servicios que carecen de un mercado a través de la creación de un mercado hipotético. Esto se realiza mediante la aplicación de una encuesta personal (ver Anexo B), allí se les pregunta a los individuos por la máxima cantidad de dinero que estarían dispuestos a pagar relacionadas con los cuatro servicios ambientales.

Para la escogencia de la muestra poblacional, se tuvo en cuenta la ubicación de cada humedal, para lo cual se emplearon las estadísticas básicas municipales realizadas por la secretaria de planeación de Facatativá, basados en el número de hogares presentes.

Memoria de cálculo

Tamaño de la muestra (número de hogares)⁴⁴

$$n = \frac{z^2(p * q)}{e^2 + \frac{(z^2(p * q))}{N}}$$

Donde:

n= tamaño de la muestra

z= nivel de confianza deseado

p= proporción de la población con las características deseadas (éxito)

q= proporción de la población sin las características deseadas (fracaso)

e= nivel de error dispuesto a cometer

N= tamaño de la población

⁴⁴ MARTÍNEZ, A.A.; MUÑOS, G.J.; PASCUAL, A.A. tamaño de muestra y precisión estadística. Almería. Universidad de Almería. 2014

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos mediante las encuestas se empleará el software estadístico Stata, el cual una vez establecidos los rangos de las variables, determina su relación lineal, mediante el coeficiente de correlación de los rangos de Spearman.

Coeficiente de correlación

La correlación se expresa como el grado de asociación entre dos variables, según el sentido de la relación de estas en términos de aumento o disminución. Se clasifican en:

Lineal o curvilínea, según la nube de puntos se condense en torno a una línea recta o a una curva.

Positiva o directa, cuando al aumentar una variable aumenta la otra y viceversa.

Negativa o inversa, cuando al crecer una variable, la otra decrece y viceversa.

Nula, cuando no existe ninguna relación y la nube de puntos están distribuidas al azar. Se dice que no están correlacionadas.

Funcional, si existe una función tal que todos los valores de la nube de puntos la satisfacen.⁴⁵

El coeficiente de correlación se calcula mediante la siguiente fórmula, utilizando el programa Stata.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n^3 - n}$$

Donde:

$d_i = r_{xi} - r_{yi}$ es la diferencia entre los rangos de X e Y.

⁴⁵ ABRAIRA, V; PÉREZ de Vargas A. Métodos Multivariantes en Bioestadística. ED. Centro de Estudios Ramón Areces. España, 1996.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

7.1 COMPARACIÓN MULTITEMPORAL DE LAS ÁREAS DE LOS HUMEDALES

Para la determinación de las áreas de los humedales, se utilizaron las fotografías aéreas adquiridas en el IGAC de los años 1937 y 2009.

Con este fin se empleó el método del Índice de vegetación de diferencia normalizado **NDVI**, el cual, mediante la combinación de bandas, permite identificar algunos elementos del paisaje. Para el presente estudio se empleó la combinación 5-3-1 y 7-4-2, las cuales no arrojaron datos contundentes, ya que las áreas de los humedales son muy pequeñas en comparación con la escala de las fotografías.

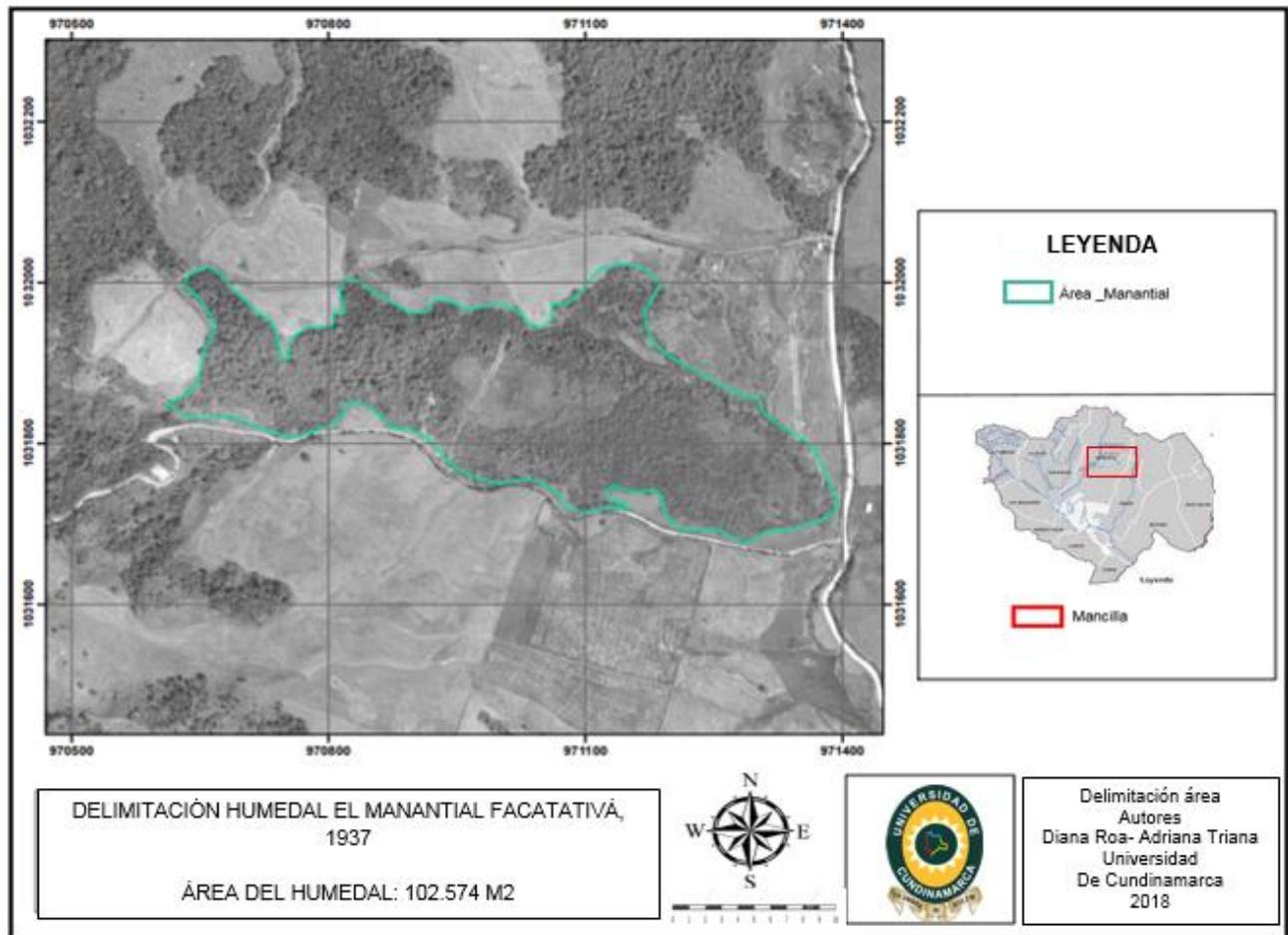
Ilustración 17. Determinación de área por el método NDVI



Fuente: Investigación propia.

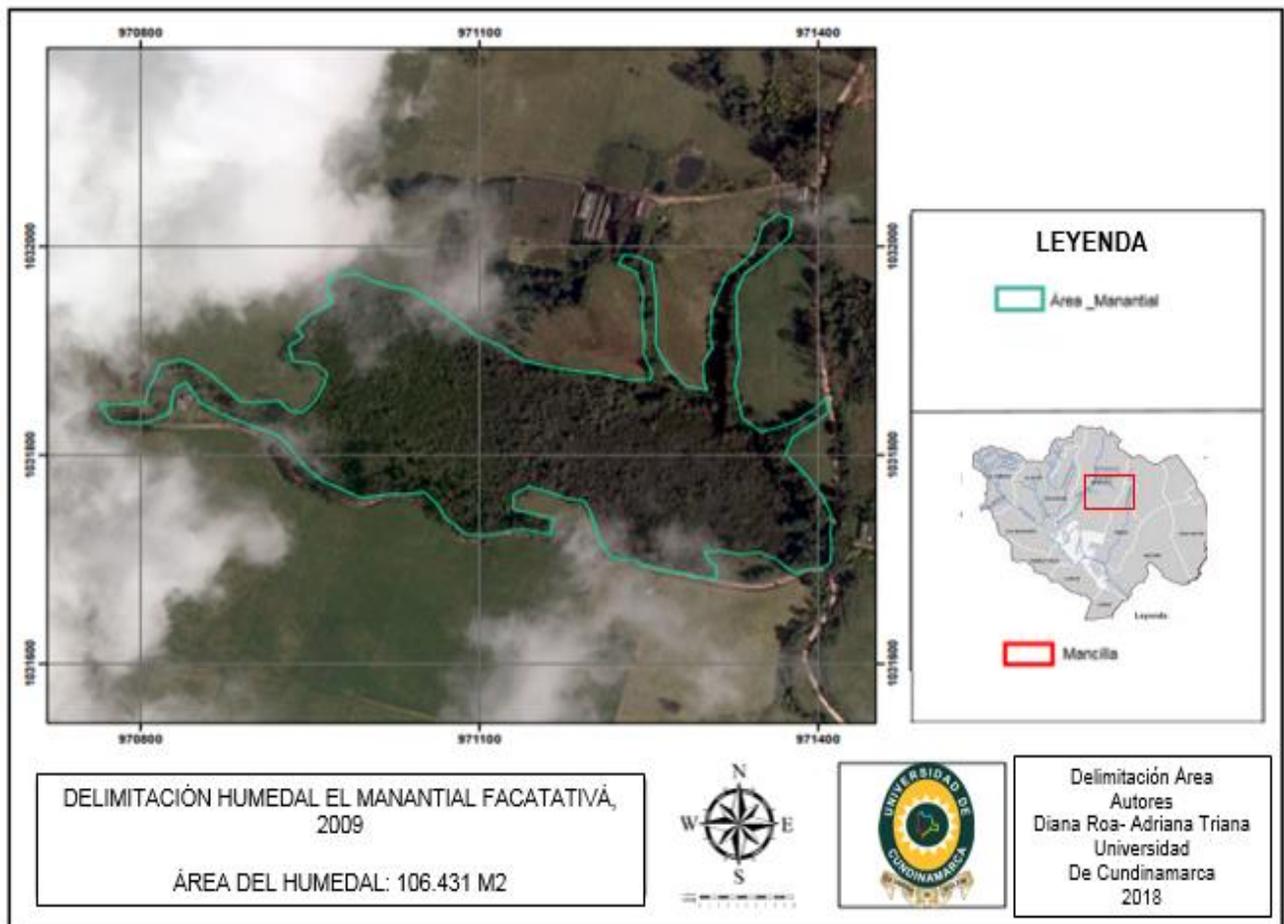
Por lo cual el cálculo de las áreas de los humedales para los años 1937 y 2009, se realizó mediante polígonos en el programa ARCGIS. Como se observa a continuación.

Ilustración 18. Área del humedal El Manantial, año 1937



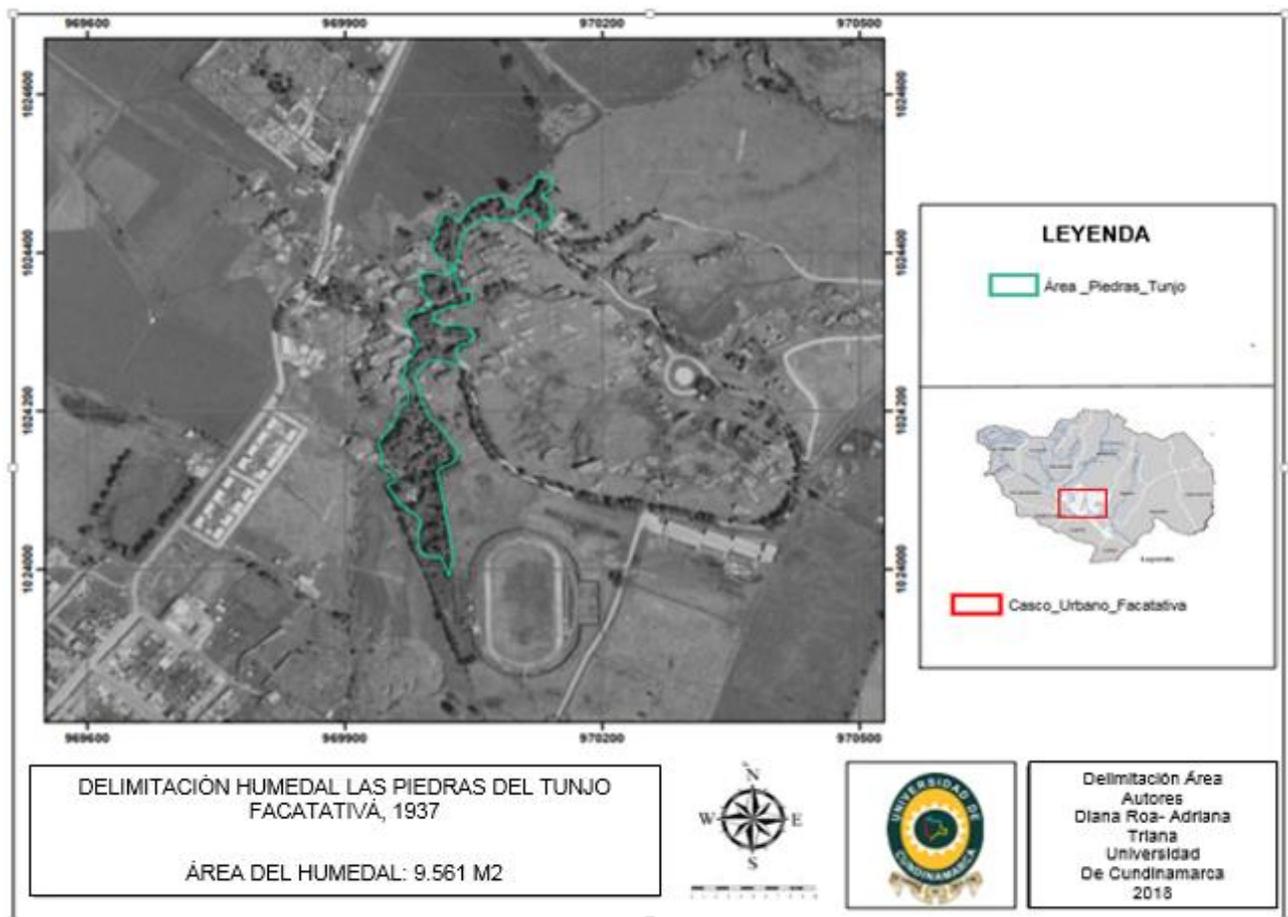
Fuente: Investigación propia.

Ilustración 19. Área humedal El Manantial, año 2009



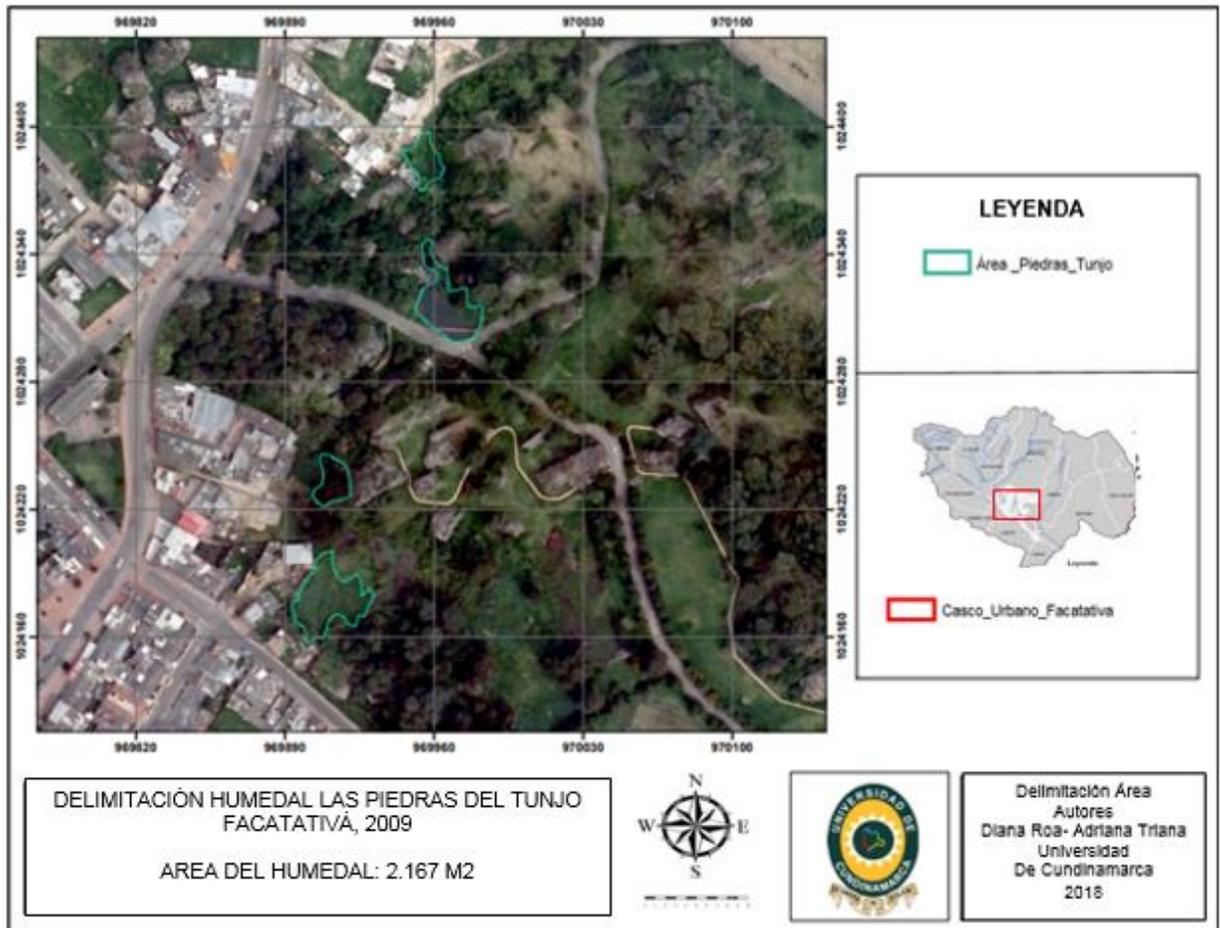
Fuente: Investigación propia.

Ilustración 20. Área del humedal Las Piedras del Tunjo, año 1937



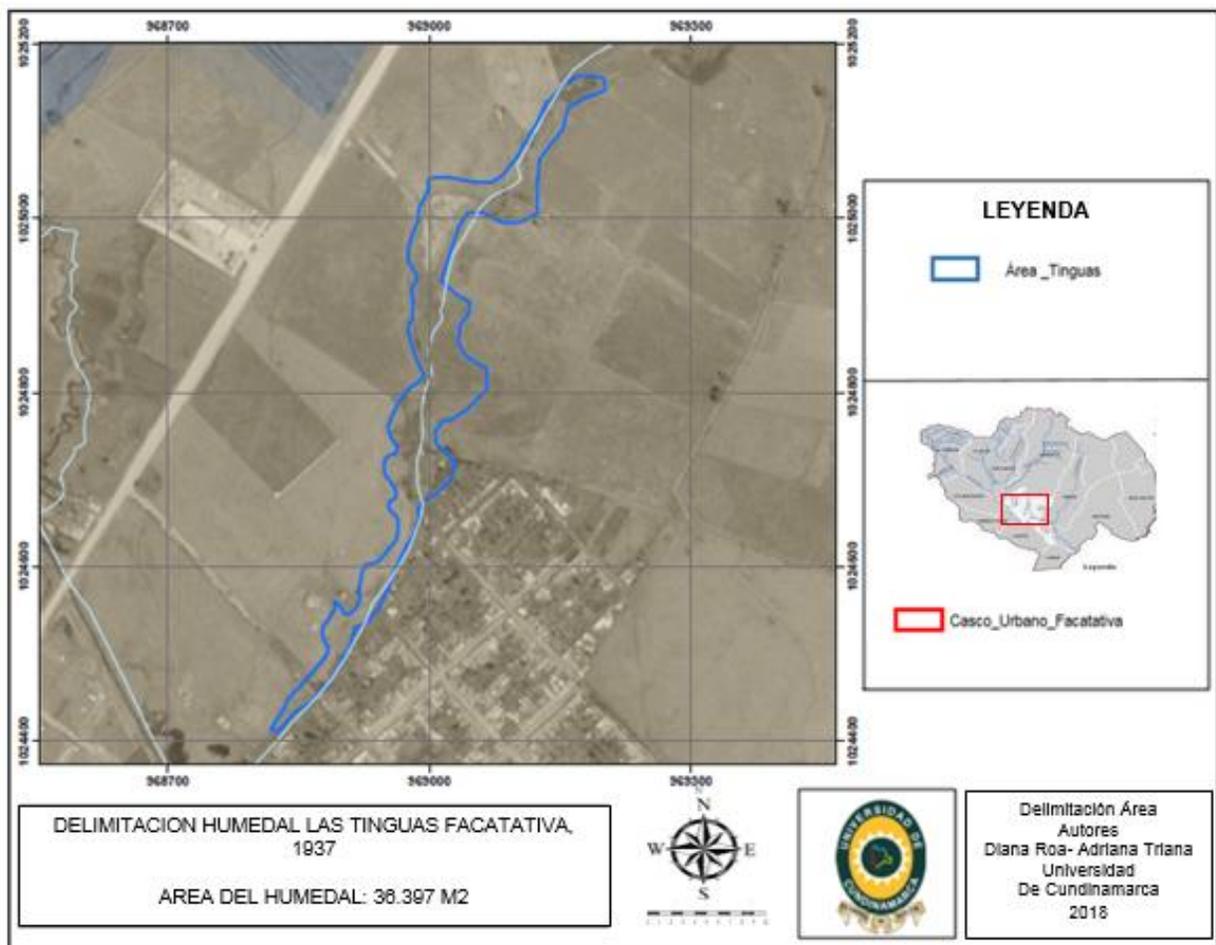
Fuente: Investigación propia.

Ilustración 21. Área del humedal Las Piedras de Tunjo, año 2009



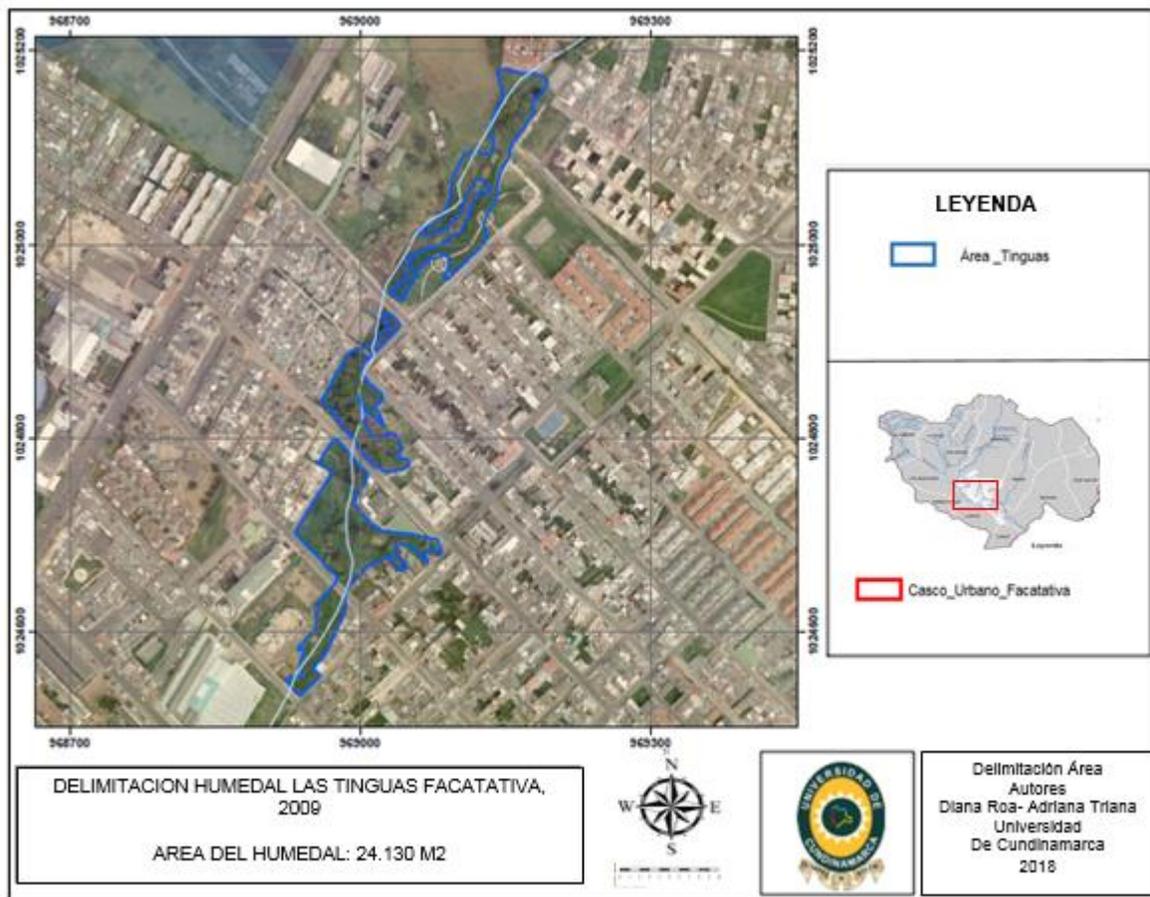
Fuente: Investigación propia.

Ilustración 22. Área del humedal Las Tinguas, año 1937



Fuente: Investigación propia.

Ilustración 23. Área del humedal Las Tinguas, año 2009



Fuente: Investigación propia.

Tabla 4. Comparación de área de humedales

Humedal	Año	Área en m ²	Área perdida en m ²	Área ganada en m ²
EL MANANTIAL	1937	102.574	N/A	3.857
	2009	106.431		
LAS PIEDRAS DEL TUNJO	1937	9.561	7.394	N/A
	2009	2.167		
LAS TINGUAS	1937	36.397	12.267	N/A
	2009	24.130		

Fuente: Investigación propia

7.1.1 Índice De Fragmentación

A continuación, se muestran los resultados del índice de fragmentación para los humedales Las Piedras del Tunjo y Las Tinguas.

Tabla 5. Índices de fragmentación

Humedal	Número de parches	Dispersión de parches	Distancia media desde un parche a otro	Densidad media de parches	Índice de fragmentación
LAS PIEDRAS DEL TUNJO	4	16,43	143.3	0,18	32,97
LAS TINGUAS	3	9,64	207,58	0,073	189

Fuente: Investigación propia

El índice de fragmentación no es comparable entre diferentes ambientes, dadas las características propias de cada uno de ellos, en cuanto a patrón de distribución espacial y factores que explican el origen o la presencia de los mismos. Por tanto, la evaluación de este índice se realizará únicamente entre datos referidos al mismo ambiente. Para cada tipo de ambiente, la tendencia del índice será evaluada en función de su incremento o disminución. El índice de fragmentación utiliza una escala inversamente proporcional al grado de fragmentación del humedal. Así, un aumento del valor del índice se relaciona con una disminución del grado de fragmentación y viceversa.

Esto se debe, atendiendo a la fórmula del índice, a que el incremento de la fragmentación se relaciona con la disminución de la superficie total de los parches, un mayor número de fragmentos (parches) y una mayor dispersión de éstas.

➤ Rangos de variación del índice

Los rangos numéricos entre los que puede oscilar el índice de fragmentación son diferentes para cada ambiente. En el caso de humedales, los bajos valores de dispersión de los parches provocan valores de F sensiblemente mayores que en bosques y formaciones herbáceas. Esta baja dispersión está causada por la baja

densidad de parches por unidad de superficie. Para establecer unos rangos de máximo y mínimo valor de F para cada tipo de ecosistema, cabe resaltar ciertos aspectos. La vegetación potencial formada por bosques, ocupan, según el Minambiente el 52,2 % del territorio. Los rangos de variación del índice de fragmentación para humedales son potencialmente más estrechos que los de bosques y formaciones herbáceas. Dado que su área de distribución potencial es muy restringida y se distribuyen en parches dispersos de forma natural, los valores teóricos máximos del índice (mínima fragmentación) no tienden a cero y se sitúan por encima de 10. Asimismo, los valores mínimos del índice (máxima fragmentación), debido al limitado número de parches que pueden existir en el territorio (a pesar de que los humedales pueden ser de origen antrópico), no son tan altos como los que pueden alcanzar los ambientes de bosque o herbáceas.⁴⁶

Para el caso de los humedales analizados, el índice de fragmentación es de 32,97 para Las Piedras del Tunjo y de 189 para Las Tinguas. Estos valores indican que la fragmentación en relación con el área de cada humedal es baja, evidenciándose la necesidad de protección de estos ecosistemas estratégicos, por parte de la comunidad aledaña y de las autoridades competentes.

7.2 CARACTERIZACIÓN DE HUMEDALES

Los resultados que a continuación se presentan, nos dan una idea del estado actual de los humedales, en relación con los parámetros físico químicos monitoreados y la clasificación de la calidad del agua, según el RAS 2000. Para la realización de los análisis se tomó el humedal El Manantial bajo el concepto de cuerpo de agua natural conservado, tomando como referencia la resolución 2115 de 2007, mientras que los humedales Las Piedras y Las Tinguas, como son cuerpos de agua contaminados por vertimientos de tipo doméstico, se tendrán en cuenta los valores que aparecen en la resolución 631 de 2015.

7.2.1 Humedal El Manantial

Para el humedal El Manantial se tuvieron en cuenta 4 puntos de muestreo como se muestra en la tabla 6.

⁴⁶ GURRUTXAGA, Mikel. Índices de fragmentación y conectividad para el indicar de biodiversidad y paisaje. España. Biodibertsitatea eta paisaia, 2003.

Tabla 6. Resultados pruebas fisicoquímicas humedal El Manantial (temporada sequia-lluvias)

	Punto de muestreo 1		Punto de muestreo 2		Punto de muestreo 3		Punto de muestreo 4	
Coordenadas	N 4°53'05.7" W 74°20'20.6"		N 4°53'05.8" W 74°20'15.7"		N 4°53'04.5" W 74°20'11.4"		N 4°53'02.8" W 74°20'07.0"	
Prueba	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia
pH	6,92	6,74	7,22	7,43	7,42	7,57	7,59	7,73
Turbidez UNT	4,55	1,28	3,52	0,24	4,75	1,42	3,71	1,43
Conductividad μS/cm	15,24	15,04	15,36	15,08	16,26	16,06	17,51	17,01
Temperatura °C	11,02	10,04	11,04	10,14	11,00	9,56	10,97	10,07
DBO ₅ mg O ₂ /L	0,80	0,59	2,05	0,99	2,18	1,43	2,24	1,12
DQO mg O ₂ /L	2,56	1,05	2,27	1,53	3,12	2,25	3,55	2,69

Fuente: Investigación propia

➤ pH

En la medición de parámetros fisicoquímicos realizada en el cuerpo de agua de los tres humedales, se obtuvo para el humedal El Manantial un pH neutro, con un promedio de 7.4. Para la temporada seca el humedal presenta un pH promedio de 7.36, valor típico de aguas naturales. Para la temporada de lluvias se evidencia un pH promedio de 7.28, el cual se encuentra en el rango de pH neutro, se puede inferir entonces que el humedal no está recibiendo vertimientos ni contaminación por algún tipo de fuente natural o antrópica.

➤ Temperatura

El humedal el manantial registra una temperatura promedio de 9 a 11 °C, la cual es considerada una temperatura similar a la del ambiente, lo que indica que no existen perturbaciones en el cuerpo de agua, relacionadas con contaminación o eutrofización.

➤ Conductividad

En el estudio realizado, el humedal el Manantial arrojó valores de 15 a 17 $\mu\text{S}/\text{cm}$, considerándose una baja conductividad (Ilustración 2), teniendo en cuenta que el agua natural no es una buena conductora de electricidad, dado que no contiene gran cantidad de solidos disueltos.

Ilustración 24. Clasificación de las aguas según su conductividad

Conductividad eléctrica		Contenido de sales disueltas
CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	Riesgo	mg/l ó ppm
0 - 250	Bajo	160
250 - 750	Medio	160 - 480
750 – 2.250	Alto	480 – 1.440
Más de 2.250	Muy alto	Mayor de 1.440

Fuente: FAO

➤ **Turbidez**

Los resultados promedio obtenidos para el humedal El Manantial en temporada fueron de 1.43 NTU, con lo que se establece que el agua tiene una turbidez aceptable tanto para la vida acuática como para el consumo humano. En contraste con la temporada de lluvias que arrojó un valor promedio de 4.13 NTU, lo que se relaciona con la mezcla generada por la precipitación sobre el cuerpo de agua.

➤ **DQO**

En el humedal el Manantial se evidenciaron valores de DQO en un rango de 1 a 3 mgO_2/L en temporada seca y en temporada de lluvias un rango de 2 a 4 mgO_2/L , estos valores indican que el cuerpo de agua no cuenta con la presencia excesiva de materia orgánica ni de agente químicos contaminantes.

➤ **DBO₅**

En el humedal el Manantial se obtuvieron valores de 0,5 a 1,5 $\text{mg O}_2/\text{L}$, para las dos temporadas del año en que se realizaron los muestreos, lo que indica que no hay una gran cantidad de materia orgánica proveniente de contaminación doméstica o industrial.

7.2.2 Humedal Las Piedras del Tunjo

Se tienen 4 puntos de muestreo teniendo en cuenta los fragmentos que tiene el humedal (tabla 7).

Tabla 7. Resultados pruebas fisicoquímicas humedal Las Piedras del Tunjo (Temporada sequia-lluvias)

	Punto de muestreo 1		Punto de muestreo 2		Punto de muestreo 3		Punto de muestreo 4	
Coordenadas	N 4°49'02.1" W 74°20'52.8"		N 4°49'01.2" W 74°20'54.7"		N 4°48'57.3" W 74°20'55.7"		N 4°48'54.5" W 74°20'55.8"	
Prueba	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia
pH	7,82	6,52	7,80	6,26	7,93	6,87	8,17	5,97
Turbidez UNT	5,81	4,56	49,54	35,38	34,41	32,59	144,35	125,26
Conductividad μ S/cm	198	185	355	336	297	252	521	458
Temperatura $^{\circ}$ C	11,2	11,4	12,3	14,7	13,0	13,5	14,27	15,00
DBO ₅ mg O ₂ /L	126	116	202	202	108	98	252,5	244
DQO mg O ₂ /L	296	258	456	308	327	170	598	506

Fuente: Investigación propia

7.2.3 Humedal Las Tinguas

Se tienen en cuenta 3 puntos de muestreo los cuales están relacionados con los fragmentos del humedal (tabla 8).

Tabla 8. Resultados pruebas fisicoquímicas humedal Las Tinguas (temporada sequia-lluvias)

	Punto de muestreo 1		Punto de muestreo 2		Punto de muestreo 3	
Coordenadas	N 4°49'24.8" W 74°21'20.1"		N 4°49'22.0" W 74°21'21.8"		N 4°49'14.1" W 74°21'24.4"	
Prueba	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia

pH	7,12	6,24	7,80	6,98	8,42	8,22
Turbidez UNT	87,24	76,94	79,8	56,35	123	98,8
Conductividad $\mu\text{S/cm}$	190	186	343	320	287	277
Temperatura $^{\circ}\text{C}$	11,9	12,0	13,6	14,1	13,8	14,0
DBO ₅ mg O ₂ /L	137	127	278	268	292	274
DQO mg O ₂ /L	277	268	422	416	483	477

Fuente: Investigación propia

➤ pH

Para el caso del humedal las Piedras del Tunjo se registra un valor promedio de pH para la temporada seca de 6.4, el cual se cataloga como ácido, esto debido probablemente a que este ecosistema es receptor de vertimientos de aguas residuales domésticas. Para la temporada de lluvias se evidenció un pH promedio de 7.93, evidenciándose una dilución en la concentración de los contaminantes generada por la precipitación.

En el humedal las Tinguas se registró un valor promedio de pH en la temporada seca de 6.5 en sus dos primeros fragmentos y un pH de 8.2 en su tercer fragmento. El pH ácido se relaciona con el agua que llega al humedal transporta trazas de contaminación, mientras que en el tercer fragmento se presenta un estado básico, esto puede estar asociado a que el tipo de vertimiento que está captando el cuerpo de agua, es de una naturaleza alcalina, posiblemente con contenidos altos de jabones, sales y grasas. En cuanto a la temporada de lluvias el valor promedio de pH fue de 7.78, esto corresponde con la dilución de sales y ácidos generado por la precipitación.

El pH varía considerablemente a lo largo de los fragmentos de cada humedal, dado a que se presentan características diferentes, como tipo de vertimiento y las condiciones topográficas.

➤ Temperatura

Los mayores valores de temperatura se observaron en los humedales fragmentados (las Piedras del Tunjo y las Tinguas) con un promedio de 13 a 15 °C. Dado que la temperatura afecta a la constante de disociación del agua, se generan cambios en las concentraciones relativas de los iones hidronio e hidroxilo, como se observa a Continuación:

Ilustración 25. Cambio de temperatura vs pH

Temperatura (°C)	$K_w \times 10^{14}$	pH
0	0,115	7,47
5	0,185	7,37
10	0,292	7,27
15	0,450	7,17
20	0,681	7,08
24	1,000	7,00
25	1,008	6,99
30	1,469	6,92
35	2,089	6,84
40	2,919	6,77

Fuente: Cole (1983)

Esto afecta directamente la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Además, incrementa la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerándose la putrefacción de materia orgánica presente en el cuerpo de agua. También, la contaminación térmica puede causar trastornos en dichos ecosistemas acuáticos ya que en algunos casos el rango de temperatura de estos es sumamente restringida.

➤ Conductividad

En los dos humedales fragmentados se encontraron valores 100 a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ evidenciándose una conductividad media, en relación con los rangos establecidos por la FAO (Ilustración 2). Aunque los resultados obtenidos no presentan un riesgo alto para la vida acuática o para el consumo de agua por parte del ser humano, se hace necesario mitigar los efectos ocasionados por los vertimientos y la contaminación en general en estos ecosistemas, dado que los valores pueden estar en aumento.

➤ Turbiedad

En Las Piedras del Tunjo y las Tinguas, se encontraron valores en un rango de 4 a 130 NTU para la temporada seca, mientras que para la temporada de lluvias el rango fue de 5 a 144 NTU, debido a que se genera una mezcla de los sedimentos presentes en el fondo. Esta medición cuantitativa se relaciona con la presencia de sólidos, evidenciándose que la contaminación por vertimientos en los humedales fragmentados aporta una gran cantidad de sólidos totales.

➤ **DQO**

En los humedales Las Piedras y Las Tinguas, se encontraron valores de DQO en un rango de 200 a 500 mgO₂/L, este valor sobrepasa el valor máximo de 200 mgO₂/L según la resolución 631, lo que indica una contaminación por aguas residuales domésticas y por lo tanto un exceso de materia orgánica, reduciéndose la cantidad de oxígeno disponible para oxidar la materia orgánica presente.

➤ **DBO₅**

En los humedales fragmentados, los valores de DBO₅ están en un rango de 100 a 200 mgO₂/, lo que indica un exceso de materia orgánica, lo cual hace que se agote el oxígeno disuelto en el agua, observándose condiciones de eutrofización y posible pérdida de la biodiversidad en el ecosistema.

7.3 SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

7.3.1 SERVICIO DE RECARGA DE ACUÍFEROS

Para realizar un análisis detallado de la capacidad de recarga de acuíferos por parte de cada humedal, se hizo necesaria la determinación de la tasa de infiltración y las propiedades físicas del suelo. Los resultados se muestran a continuación.

7.3.1.1 Resultados de prueba de infiltración (método del doble anillo)

Para el presente estudio, se realizó una prueba de infiltración en cada uno de los humedales, teniendo en cuenta el lugar más representativo y de fácil instalación de los anillos. En el caso de los humedales fragmentados, se realizó la prueba de infiltración en el fragmento que se evidenció más deteriorado.

➤ **Humedal El Manantial**

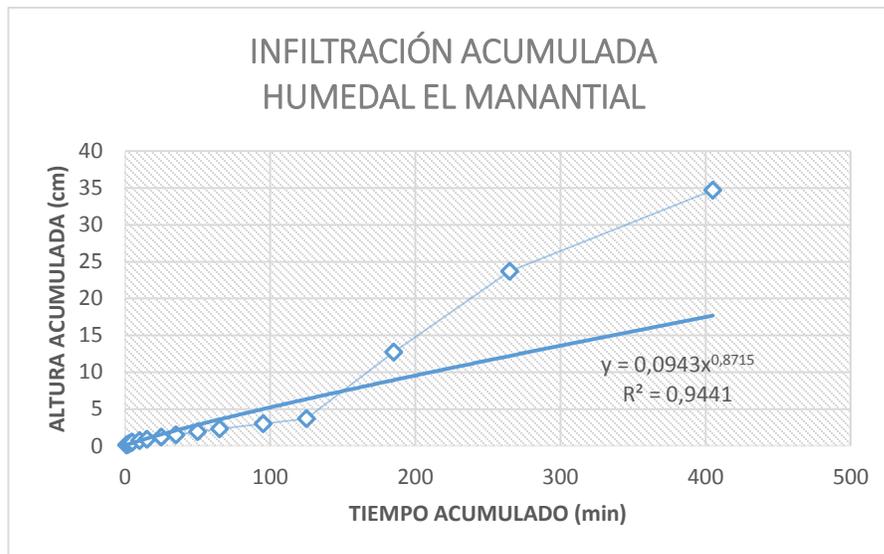
Para la determinación de la velocidad de infiltración, se obtuvo la velocidad instantánea a partir del tiempo y las diferencias de alturas como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados prueba de infiltración humedal El Manantial

TIEMPO (min)	TIEMPO ACUMULADO (min)	ALTURA (cm)	NIVELAR	DIFERENCIA DE ALTURAS (cm)	ALTURA ACUMULADA (cm)	VELOCIDAD INFILTRACIÓN INSTANTÁNEA (mm/hora)
0	0	15		0	0	0
1	1	14,9		0,1	0,1	6
1	2	14,8		0,1	0,2	6
1	3	14,7		0,1	0,3	6
1	4	14,6		0,1	0,4	6
1	5	14,5		0,1	0,5	6
5	10	14,3		0,2	0,7	2,4
5	15	14,1		0,2	0,9	2,4
10	25	13,8		0,3	1,2	1,8
10	35	13,5		0,3	1,5	1,8
15	50	13,1		0,4	1,9	1,6
15	65	12,7		0,4	2,3	1,6
30	95	12		0,7	3	1,4
30	125	11,3		0,7	3,7	1,4
60	185	2,3	15	9	12,7	9
80	265	4	15	11	23,7	8,3
140	405	4		11	34,7	4,7

Fuente: Investigación propia

Gráfica 1. Infiltración acumulada incluyendo línea de tendencia y ecuación



Infiltración básica

$$Ib = 0.0822 * 78^{-0.1285}$$

$$Ib = 0.05 \text{ cm/min o } 3 \text{ cm/h}$$

$$Ib = 30 \text{ mm/h}$$

➤ **Humedal Las Piedras del Tunjo**

Para la determinación de la velocidad de infiltración, se obtuvo la velocidad instantánea a partir del tiempo y las diferencias de alturas como se muestra en la tabla 10.

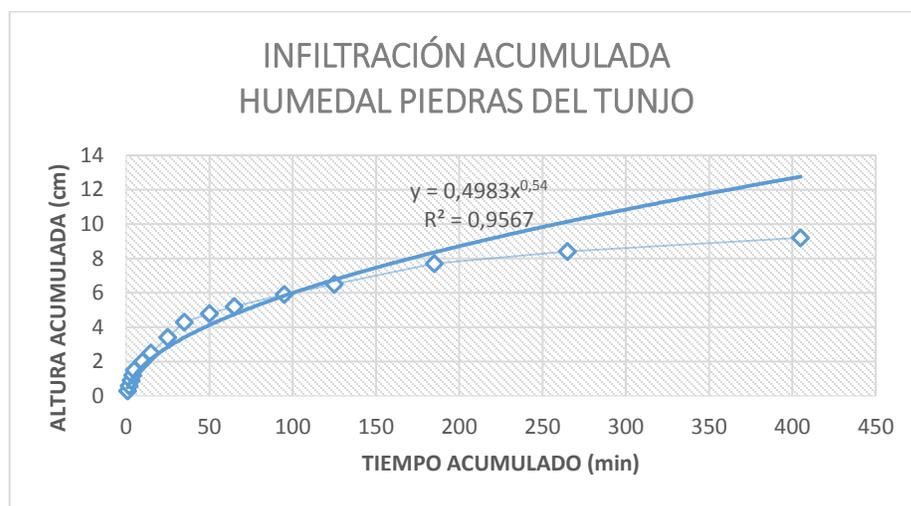
Tabla 10. Resultados prueba de infiltración humedal las Piedras del Tunjo

TIEMPO (MIN)	TIEMPO ACUMULADO (MIN)	ALTURA (CM)	NIVELAR	DIFERENCIA DE ALTURAS (CM)	ALTURA ACUMULADA (CM)	VELOCIDAD INFILTRACIÓN INSTANTÁNEA (MM/HORA)
0	0	15		0	0	0
1	1	14,7		0,3	0,3	18,0
1	2	14,4		0,3	0,6	18,0
1	3	14,1		0,3	0,9	18,0
1	4	13,8		0,3	1,2	18,0
1	5	13,5		0,3	1,5	18,0
5	10	13		0,5	2	6,0
5	15	12,5		0,5	2,5	6,0
10	25	11,6		0,9	3,4	5,4

10	35	10,7		0,9	4,3	5,4
15	50	10,2		0,5	4,8	2,0
15	65	9,8		0,4	5,2	1,6
30	95	9,1		0,7	5,9	1,4
30	125	8,5		0,6	6,5	1,2
60	185	7,3		1,2	7,7	1,2
80	265	6,6		0,7	8,4	0,5
140	405	5,5		1,1	9,5	0,5

Fuente: Investigación propia

Gráfica 2. Infiltración acumulada incluyendo línea de tendencia y ecuación



Fuente: Investigación propia

Velocidad de infiltración instantánea

$$Ib = 0.27 * 276^{-0.46}$$

$$Ib = 0.02 \text{ cm/min o } 1.2 \text{ cm/h}$$

$$Ib = 12 \text{ mm/h}$$

➤ Humedal Las Tinguas

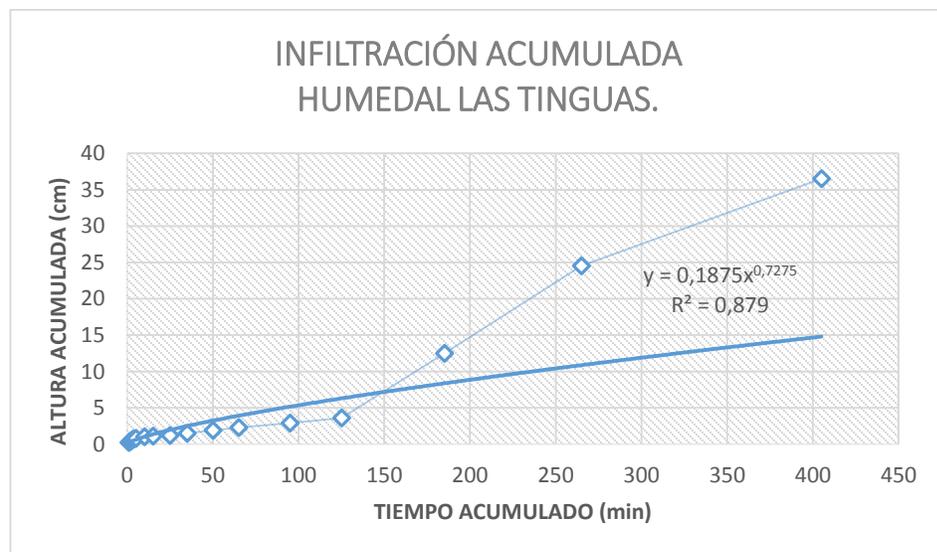
Para la determinación de la velocidad de infiltración, se obtuvo la velocidad instantánea a partir del tiempo y las diferencias de alturas como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Resultados prueba de infiltración humedal Las Tinguas

TIEMPO (min)	TIEMPO ACUMULADO (min)	ALTURA (cm)	NIVELAR	DIFERENCIA DE ALTURAS (cm)	ALTURA ACUMULADA (cm)	VELOCIDAD INFILTRACIÓN INSTANTÁNEA (mm/hora)
0	0	15		0	0	0
1	1	14,8		0,2	0,2	12
1	2	14,6		0,2	0,4	12
1	3	14,4		0,2	0,6	12
1	4	14,3		0,1	0,7	6
1	5	14,2		0,1	0,8	6
5	10	14		0,2	1	2,4
5	15	13,9		0,1	1,1	1,2
10	25	13,8		0,1	1,2	0,6
10	35	13,5		0,3	1,5	1,8
15	50	13,1		0,4	1,9	1,6
15	65	12,7		0,4	2,3	1,6
30	95	12,1		0,6	2,9	1,2
30	125	11,4		0,7	3,6	1,4
60	185	2,5	15	8,9	12,5	8,9
80	265	3	15	12	24,5	9,0
140	405	3		12	36,5	5,1

Fuente: Investigación propia

Gráfica 3. Infiltración acumulada incluyendo línea de tendencia y ecuación



Fuente: Investigación propia

Velocidad de infiltración instantánea

$$Ib = 0.1364 * 168^{-0.2775}$$

$$Ib = 0.03 \text{ cm/min o } 1.8 \text{ cm/h}$$

$$Ib = 18\text{mm/h}$$

A partir de la tabla 12 se realizó el análisis de la tasa de infiltración del suelo.

Tabla 12. Valores de tasa de infiltración del suelo

Clase	Tasa de infiltración (mm/h)	Suelo
Muy baja	< de 2,5	Arcilla
Baja	2,5-15,0	Superficiales altos en arcilla o bajo en materia orgánica.
Media	15,0-50,0	Francos y limosos
Alta	>de 50,0	Profundos arenosos

Fuente: Manual FAO, 2012

7.3.1.2 Resultados Propiedades físicas del suelo

➤ Humedad gravimétrica

Para la determinación de la humedad gravimétrica del suelo se tomaron muestras directas y los resultados obtenidos para cada humedal, se observan en la tabla 13.

Tabla 13. Resultados humedad gravimétrica

Lugar	Muestra	phsa (g)	pssa (g)	Peso (g)	phs (g)	pss (g)	% Agua	PROMEDIO
HUMEDAL EL MANANTIAL	1	34,68	32,48	22,21	12,47	10,27	24,05	24%
	2	33,54	31,34	21,92	11,62	9,42	23,35	
	3	33,66	31,46	21,89	11,77	9,57	22,98	
HUMEDAL LAS PIEDRAS DEL TUNJO	1	32,18	29,05	22,21	9,97	6,84	45,76	43%
	2	27,12	25,53	21,92	5,20	3,61	44,04	
	3	28,99	26,94	21,89	7,10	5,05	40,59	
HUMEDAL LAS TINGUAS	1	36,22	56,66	22,21	14,01	12,45	12,53	15%
	2	33,78	21,98	21,92	11,86	10,06	17,89	

	3	35,14	33,34	21,89	13,25	11,45	15,72	
--	---	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--

Fuente: Investigación propia

El humedal Las Piedras del Tunjo tiene el mayor porcentaje de humedad, con un 43%, en comparación con Las Tinguas 15% y El Manantial con un 24%, lo que se espera con estos resultados es que la infiltración sea más rápida en Las Tinguas, ya que existen mayor cantidad de espacios porosos libres.

Estructura de suelo método de granulometría

En las tablas 14,15 y 16, se relaciona el muestreo compuesto realizado para cada humedal, con su respectivo tamizaje y el análisis de la curva granulométrica, mediante los coeficientes de uniformidad y curvatura.

Para construir la gráfica semilogarítmica, es necesario conocer las cantidades retenidas en cada tamiz, donde se representa el porcentaje del peso de muestra que pasa por cada abertura del tamiz. Se debe tener en cuenta que el porcentaje retenido acumulado no es del 100% a causa de las pérdidas de material. La interpretación de dicha curva granulométrica puede proporcionar información acerca del comportamiento del suelo.

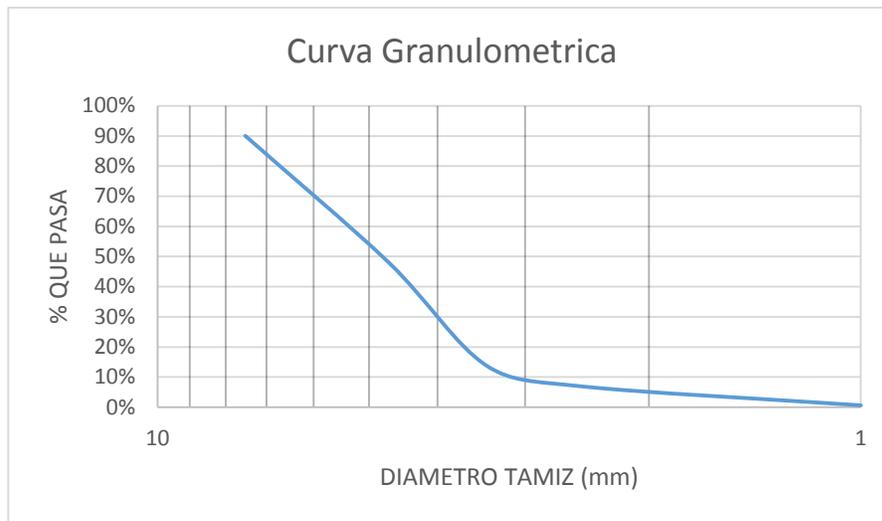
➤ Humedal El Manantial

Tabla 14. Granulometría Humedal El Manantial

DIÁMETRO (mm)	PESO (gr)	% PESO	% ACUMULADO	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
20	25,01	15,46	15,46	25,01	15%	84,5%
10	53,16	32,86	48,32	78,17	48%	51,7%
6,3	42,12	26,03	74,35	120,29	74%	25,7%
2	10,24	6,33	80,68	130,5	81%	19,3%
0,315	8,54	5,28	85,96	139,1	86%	14,0%
0,08	21,29	13,16	99,12	160,4	90%	0,9%
Fondo	1,47	0,91	100,0	1,4	100%	0,0%
TOTAL	161,8	99,1				

Fuente: Investigación propia

Gráfica 4. Curva granulométrica Humedal El Manantial



Fuente: Investigación propia

En la curva granulométrica, se observa que la mayor cantidad de agregados esta retenida en el primer tamiz 1/4", reteniendo 120,29 gr, que equivalen al 42,12% de gravas en la muestra, en contraste con el porcentaje retenido en el fondo, con un peso de 1.4 gr perteneciente a limos.

Coeficiente de Uniformidad:

$$Cu = \frac{5.4}{3.1} = 1.74$$

Coeficiente de Curvatura:

$$Cc = \frac{(4^2)}{3.1 * 5.4} = 0.96$$

El coeficiente de uniformidad (CU) es de 1.74, siendo los suelos <2,5 muy uniformes y el coeficiente de Curvatura (CC) es de 0.96, lo que indica que el suelo presente en el humedal el Manantial es un suelo mal graduado, debido a la diferencia significativa en la distribución de las partículas según su grosor.

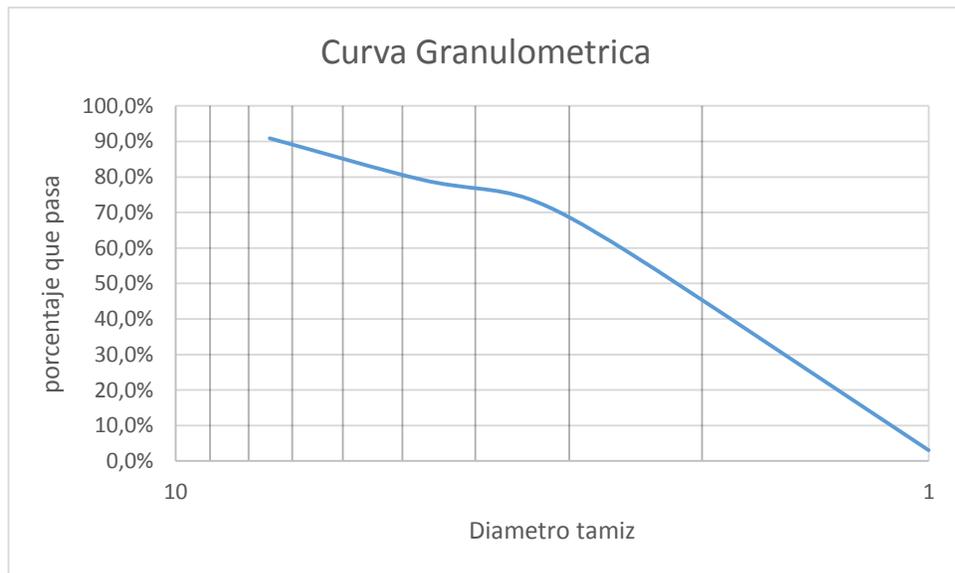
➤ **Humedal Las Piedras del Tunjo**

Tabla 15. Granulometría Humedal Las Piedras del Tunjo

DIÁMETRO (mm)	PESO (gr)	% PESO	% ACUMULADO	PESO RETENIDO	% PASA
20	7,87	6,20	6,20	7,87	90,8%
10	10,42	8,21	14,41	18,29	85,6%
6,3	11,61	9,15	23,56	29,9	76,4%
2	19,18	15,11	38,67	49,1	61,3%
0,315	26,02	20,50	59,18	75,1	40,8%
0,08	48,05	37,86	97,04	123,2	3,0%
Fondo	3,76	2,96	100	126,9	0,0%
TOTAL	126,91	100			

Fuente: Investigación propia

Gráfica 5. Curva granulométrica humedal Las Piedras del Tunjo



Fuente: Investigación propia

Con respecto a la granulometría del suelo, se observa que una gran cantidad de los agregados quedaron en el segundo tamiz N 200, reteniendo 123,2 gr, que equivale al 48,05% de limos en la muestra, esto evidencia que en el suelo existe una baja presencia de partículas grandes, mientras que en los tamices restantes, se notó una pequeña parte, pasando 75,1 g del suelo, al tamiz N° 200.

Coeficiente de Uniformidad:

$$Cu = \frac{2.85}{1.31} = 2.18$$

Coeficiente de Curvatura:

$$Cc = \frac{(1.65^2)}{1.31 * 2.85} = 0.73$$

El coeficiente de uniformidad (CU) es de 2.18, siendo los suelos <2,5 muy uniformes y el coeficiente de Curvatura (Cc) es de 0.73 lo que indica que el suelo presente en el humedal Las Piedras del Tunjo es un suelo mal graduado, debido a la diferencia significativa en la distribución de las partículas según su grosor.

➤ **Humedal Las Tinguas**

Tabla 16. Granulometría Humedal Las Tinguas.

DIÁMETRO (mm)	PESO (gr)	% PESO	% ACUMULADO	PESO RETENIDO	% PASA
20	8,83	7,49	7,49	8,83	92,5%
10	9,12	7,74	15,23	17,95	84,8%
6,3	15,34	13,02	28,25	33,29	71,7%
2	37,26	31,62	59,87	70,6	40,1%
0,315	23,57	20,00	79,88	94,1	20,1%
0,08	18,57	15,76	95,64	112,7	4,4%
Fondo	5,14	4,36	100	117,83	0,0%
TOTAL	117,83	100			

Fuente: Investigación propia

Tabla 17 Resultado prueba de tacto.

PRUEBAS	LUGAR DE MUESTREO		
	Humedal El Manantial	Humedal Las Piedras del Tunjo	Humedal Las Tinguas
Lanzamiento de la bola	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
Compresión de la Bola	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
Prueba de la botella	Arcilla 0,18%, Limos 0,46% y Arena 0,36%	Arcilla 0,65% Limos 0,26% y Arena 0,08%	Arcilla 0,53%, Limos 0,33% y Arena 0,13%
Prueba de la bola de barro	Textura moderadamente fina	Textura moderadamente fina	Textura moderadamente fina
Sacudimiento de la bola	Arenoso franco	Arcilloso limoso.	Franco arcilloso
Desmenuzamiento en seco	Arcilloso limoso	Arcilloso limoso	Arcilloso limoso
Prueba de Manipulación	Franco	Arcilla ligera	Franco
Prueba de Sacudimiento	Limoso	Limoso	Limoso
Triangulo de textura	FRANCO ARENOSO	ARCILLOSO LIMOSO	FRANCO ARCILLOSO

Fuente: Investigación propia

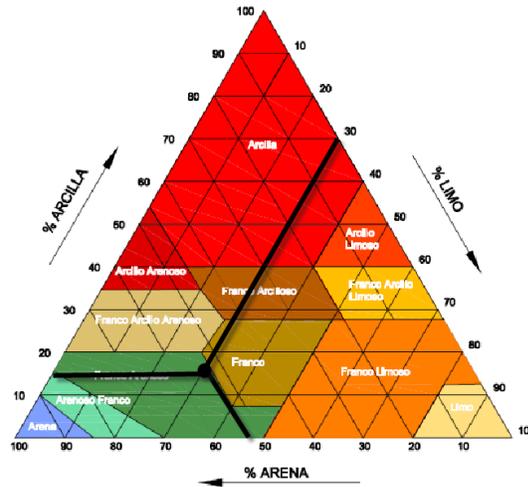
Triangulo textural

El triángulo de textura de suelos según la FAO se usa como una herramienta para clasificar la textura. Las partículas del suelo que superan tamaño de 2,0 mm se definen como piedra y grava y también se incluyen en la clase de textura. Por ejemplo, un suelo arenoso con 20% de grava se clasifica como franco arenoso con presencia de gravas. Cuando predominan componentes orgánicos se forman suelos orgánicos en vez de minerales.⁴⁷

⁴⁷ FAO. Textura del suelo. Portal de suelos de la FAO. 2017.

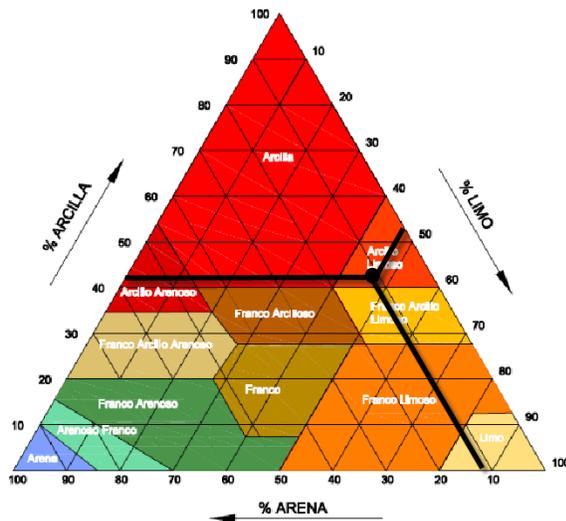
Teniendo en cuenta los porcentajes de arena, limo y arcilla se determina la clasificación textural del suelo para cada humedal.

Ilustración 26. Triángulo textural humedal El Manantial



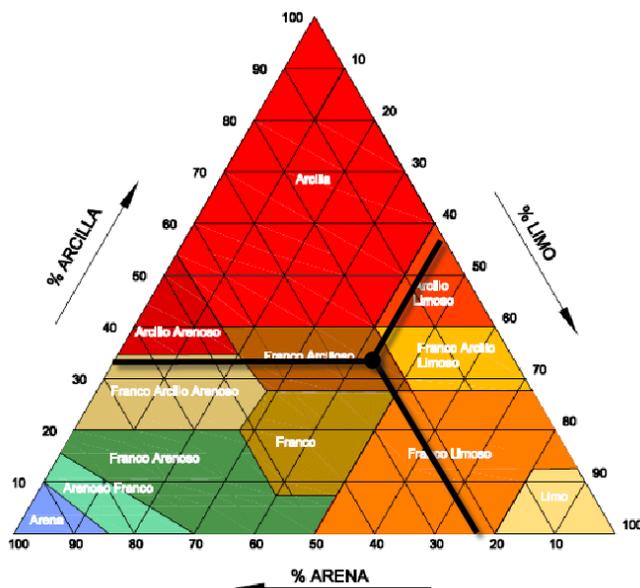
Fuente: Investigación propia.

Ilustración 27. Triángulo textural humedal Las Piedras del Tunjo



Fuente: Investigación propia.

Ilustración 28. Triángulo textural humedal Las Tinguas



Fuente: Investigación propia.

Conocer la estructura del suelo de los tres humedales objeto de estudio, se realiza para confirmar los resultados de los perfiles de suelos que se encontraron de zonas aledañas a los humedales (ver Anexo D), a pesar de que el método utilizado no es el más preciso, los resultados comparados con el perfil son muy aproximados. Obteniéndose que la textura del suelo para El Manantial es franco arenoso, para Las Piedras es arcillo limoso y para Las Tinguas franco arcilloso y el nivel freático está en un rango de 1 a 3 metros de profundidad.

Con esto se puede comprobar que los suelos permiten la infiltración ya que no se cuenta con una capa impermeable antes de los 3 metros.

➤ Porosidad

La prueba de porosidad se realizó tomando una muestra inalterada de suelo a 70 cm de profundidad, con el fin de que los poros libres no absorbieran algún elemento del ambiente. Con los resultados obtenidos se relacionará la capacidad de cada tipo de suelo para retener agua.

Tabla 18. Resultados porosidad

Lugar	Muestra	Masa Probeta Vacía (g)	Masa Suelo (g)	Volumen Total Muestra (cm ³)	Masa Suelo + Líquido	Porosidad (%)	Promedio Porosidad
HUMEDAL EL MANANTIAL	1	82,9	130,1	50	150,3	40,4	40%
	2	82,9	130,4	50	150,6	40,4	
	3	82,9	129,9	50	149,9	40	
HUMEDAL LAS PIEDRAS DEL TUNJO	1	82,6	117,5	50	142,1	49,2	50%
	2	82,6	117,7	50	142,4	49,4	
	3	82,6	117,4	50	142,3	49,8	
HUMEDAL LAS TINGUAS	1	88,3	156,2	50	179,4	46,4	46%
	2	88,3	155,9	50	178,9	46	
	3	88,3	156,3	50	179,7	46,8	

Fuente: Investigación propia

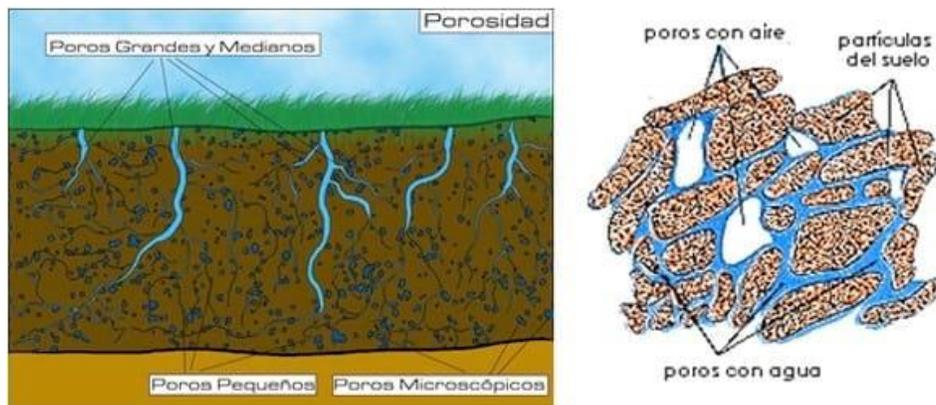
La porosidad varía dentro de los siguientes límites:

- Suelos ligeros: 30 – 45 %
- Suelos medios: 45 – 55 %
- Suelos pesados: 50 – 65 %
- Suelos turbosos: 75 – 90 %

Los suelos arenosos son macroporosos, siendo rápido el drenaje de agua. En cambio, los suelos arcillosos son microporosos, por lo que tienen escasa aireación, pero tienen alta capacidad de retención del agua (ilustración 6).⁴⁸

⁴⁸ FAO. Porosidad del suelo. Portal de suelos de la FAO. 2017.

Ilustración 29. Porosidad según el tamaño



Fuente: FAO, 2017

El resultado de porosidad permite conocer que tanta agua se puede retener en el suelo dato importante para la infiltración, si el suelo contiene más macroporos la infiltración será más rápida, es el caso de El Manantial con una porosidad 40%, correspondiente a un suelo ligero, mientras que si las capas superiores están formadas por microporos la infiltración será lenta, como en Las Piedras con un 50% de porosidad, y Las Tinguas con 46% de porosidad, clasificándose como suelos medios.

➤ Permeabilidad

La prueba de porosidad se realizó con el objetivo de determinar la capacidad que tiene un suelo para que un fluido lo atravesase, sin alterar su estructura interna. Los resultados de dicha prueba para cada humedal, se muestran a continuación.

Tabla 19. Resultados coeficiente de permeabilidad.

LUGAR	MUESTRA	VOLUMEN DRENADO (cm ³)	DISTANCIA INTERIOR DE LA MUESTRA (cm)	PERDIDA DE CARGA HIDRÁULICA (cm)	ÁREA DE LA MUESTRA (cm ²)	TIEMPO (seg)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD
HUMEDAL EL MANANTIAL	1	156,3	6	14,2	83,72	754	1,04x10 ⁻³
	2	164,3	6	14,2	83,72	786	1,05x10 ⁻³
	3	184,3	6	14,2	83,72	802	1,15x10 ⁻³
HUMEDAL LAS PIEDRAS DEL TUNJO	1	12,4	6	14,2	83,72	6520	9,59x10 ⁻⁶
	2	15,7	6	14,2	83,72	8010	9,89x10 ⁻⁶
	3	8,7	6	14,2	83,72	5340	8,22x10 ⁻⁶
HUMEDAL LAS TINGUAS	1	60,8	6	16,5	163,36	2906	4,65x10 ⁻⁵
	2	56,4	6	16,5	163,36	3491	3,59x10 ⁻⁵
	3	75,2	6	16,5	163,36	4601	3,63x10 ⁻⁵

Fuente: Investigación propia

Para el caso del humedal El Manantial se obtuvo una permeabilidad alta coeficiente de 10⁻³), Las Tinguas y Las Piedras del tunjo poseen suelos poco permeables (coeficiente de 10⁻⁵ y coeficiente de 10⁻⁶, respectivamente).

7.3.1.3 Análisis del servicio de recarga de acuíferos en relación a la fragmentación

La recarga de acuíferos forma parte del proceso hidrológico, que se genera tras la infiltración y la escorrentía subterránea, las cuales se ven afectadas por las condiciones topográficas y las propiedades físicas del suelo.

Tabla 20. Condiciones del suelo de cada humedal

Condiciones	El Manantial	Las Piedras	Las Tinguas
Velocidad de infiltración	Media	Baja	Media-baja
% de humedad	24	43	15
Estructura	Mal graduado	Mal graduado	Bien graduado
Textura	Franco arenoso	Arcillo limoso	Franco arcilloso
Porosidad	Ligera	Media	Media
Permeabilidad	Alta	Poca	Poca

Fuente: Investigación propia

Dadas las condiciones anteriores se puede inferir que el humedal El Manantial, actualmente están en la capacidad de prestar el servicio de recarga de acuíferos, ya que tiene un suelo con textura franco arenosa, la cual tiene una mezcla de arena, limo y arcilla, donde predomina la arena. Esto supone una relación entre permeabilidad y la retención de agua y nutrientes, garantizando la infiltración vertical del agua, en condiciones de saturación del sistema.

En cuanto al humedal Las Piedras del Tunjo, actualmente no cuenta con la capacidad de prestar el servicio de recarga de acuíferos, teniendo en cuenta la tasa de infiltración es baja, además de que cuenta con un suelo de textura arcillo limosa, compacto y que suele tener un mal drenaje, debido posiblemente a las inadecuadas prácticas de manejo, así como a la fragmentación del ecosistema, lo cual supone un desequilibrio entre la permeabilidad y la retención de agua y nutrientes.

Por otro lado, el humedal Las Tinguas, actualmente cuenta con la capacidad de prestar el servicio de recarga de acuíferos, donde la tasa de infiltración es medio-baja y un suelo de textura franco arcillosa, compacto y que suele tener un drenaje medio, debido posiblemente a las inadecuadas prácticas de manejo, así como a la fragmentación del ecosistema.

La recarga de acuíferos es un servicio ecosistémico que prestan los humedales, con los resultados obtenidos en la presente investigación se puede concluir que cuando un humedal está afectado por la fragmentación y se ha generado un deterioro del suelo, causado por la erosión y la deforestación, este tiende a la compactación y a la colmatación por sedimentos, disminuyendo la velocidad de infiltración, incluso ocasionando la formación de capas impermeables que impidan la correcta infiltración. De acuerdo con Walker y Salt (2012), la variación ambiental y las perturbaciones antrópicas pueden influir en la variabilidad de los atributos que le

confieren identidad a un sistema. Sin embargo, a través de mecanismos y dinámicas propias, el sistema conserva sus funciones, estructuras e interacciones para no perder su naturaleza como ecosistemas acuáticos.

7.3.2 SERVICIO DE RETENCIÓN DE NUTRIENTES

Para realizar un análisis detallado de la capacidad de retención de nutrientes por parte de cada humedal, se hizo necesaria la determinación de la cantidad de fósforo y nitratos. Los resultados se muestran en las tablas 18,19 y 20.

7.3.2.1 Resultados de prueba de determinación de nitratos

Para el presente estudio, se realizó la determinación de nitrógeno en forma de nitratos, midiendo la absorbancia de la muestra a 220 y 275 nm en un espectrofotómetro y se realizó la determinación de fósforo total por colorimetría por flujo continuo segmentado (CFA), para cada uno de los humedales, en los puntos de muestreo seleccionados en dos temporadas del año. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 21 Resultados de nutrientes en el humedal El Manantial (temporada lluvias-sequia)

HUMEDAL EL MANANTIAL	PRUEBA	LLUVIAS	SEQUIA
Punto de muestreo 1	Nitratos (mg/L NO ₃)	1,51	0,44
	Fósforo total (mg/L PO ₄)	0,12	0,07
Punto de muestreo 2	Nitratos (mg/L NO ₃)	1,60	0,74
	Fósforo total (mg/L PO ₄)	0,14	0,11
Punto de muestreo 3	Nitratos (mg/L NO ₃)	2,00	1,16
	Fósforo total (mg/L PO ₄)	0,16	0,10
Punto de muestreo 4	Nitratos (mg/L NO ₃)	1,98	1,55
	Fósforo total (mg/L PO ₄)	0,18	0,14

Fuente: Investigación propia

Tabla 22. Resultados nutrientes en el humedal Las Piedras del Tunjo (temporada lluvias-sequia)

HUMEDAL LAS PIEDRAS DEL TUNJO	PRUEBA	LLUVIAS	SEQUIA
Punto de muestreo 1	Nitratos (mg/L NO ₃)	2,27	2,00
	Fosforo total (mg/L PO ₄)	5,40	4,80
Punto de muestreo 2	Nitratos (mg/L NO ₃)	14,23	13,12
	Fosforo total (mg/L PO ₄)	30,47	29,83
Punto de muestreo 3	Nitratos (mg/L NO ₃)	25,33	24,24
	Fosforo total (mg/L PO ₄)	26,87	26,22
Punto de muestreo 4	Nitratos (mg/L NO ₃)	37,17	36,44
	Fosforo total (mg/L PO ₄)	31,58	31,03

Fuente: Investigación propia

Tabla 23 Resultados nutrientes en el humedal Las Tinguas (temporada lluvias-sequia)

HUMEDAL LAS TINGUAS	PRUEBA	LLUVIAS	SEQUIA
Punto de muestreo 1	Nitratos (mg/L NO ₃)	2,21	1,94
	Fosforo total (mg/L PO ₄)	3,4	2,83
Punto de muestreo 2	Nitratos (mg/L NO ₃)	24,63	23,13
	Fosforo total (mg/L PO ₄)	22,71	21,16
Punto de muestreo 3	Nitratos (mg/L NO ₃)	36,54	34,14
	Fosforo total (mg/L PO ₄)	26,67	25,98

Fuente: Investigación propia

Teniendo en cuenta que los nutrientes que se encuentran en el humedal El Manantial, están dados por: nitratos en un rango 0,44 a 2,0 mg/L NO₃ y fosforo 0,7 a 0,18 mg/L PO₄, para las dos temporadas del año analizadas. Este es un ecosistema, que se encuentra en estado natural, actualmente no ha sufrido fragmentación ni

recibe vertimientos de ningún tipo; razón por la cual la vegetación presente en este humedal absorbe, retiene, distribuye los nutrientes y los almacenan. Estos nutrientes son devueltos al ecosistema en forma de biomasa, dado que no presenta condiciones como colmatación, contaminación o eutrofización. También teniendo en cuenta que no se evidencia fragmentación, la densidad arbórea garantiza la distribución de los nutrientes, así como su disolución a través del cauce del humedal.

En cuanto al humedal Las Piedras según los resultados, el fósforo está en un rango de 4,80 a 31,58 mg/L PO₄ y de nitrógeno 2,00 a 37,17 mg/L NO₃; lo que muestra que se está presentando una acumulación de nutrientes, que se evidencia con la eutrofización, lo que puede llegar a limitar la capacidad de infiltración del suelo y la disminución de la calidad de agua suministrada por el humedal.

Caso muy parecido sucede en el humedal las Tinguas, en el cual se evidenciaron valores de fósforo de 2,83 a 26,67 mg/L PO₄ y nitratos 1,94 a 36,54 mg/L NO₃, razón por la cual el humedal no está en la capacidad de brindar el servicio de retención de nutrientes ya que se encuentra colmatado el ecosistema.

Según los resultados de fósforo y nitrato los dos humedales fragmentados (Piedras del tunjo y Tinguas), presentan una acumulación de nutrientes lo cual está asociado a los vertimientos de aguas residuales, si la fragmentación no hubiese disminuido la densidad arbórea, estos nutrientes serían consumidos por la vegetación del humedal y se almacenarían en sus hojas, tallos y raíces, lo cual contribuiría a mejorar la calidad del agua. Y estos humedales podrían seguir prestando el servicio de retención de nutrientes.

7.3.2.2 Análisis del servicio de retención de nutrientes en relación a la fragmentación

Como se puede evidenciar la retención de nutrientes por parte de los humedales, tiene lugar cuando principalmente el nitrógeno y el fósforo, se acumulan en el subsuelo o se almacenan en la vegetación, cuando estas condiciones se ven alteradas como en el caso de los humedales fragmentados, se genera la pérdida del servicio. Contrario a lo que sucede en el humedal El Manantial, que conserva su estructura funcional y convirtiendo los nitratos presentes en nitrógeno gaseoso, circulando nuevamente hacia la atmósfera como resultado de la desnitrificación.⁴⁹

⁴⁹ DUGAN, Patrick. Conservación de humedales. Suiza.UICN. 1992. pp 100.

Teniendo en cuenta que, la vegetación de los humedales juega un papel muy importante al momento de retener los sedimentos y nutrientes que son transportados por agua de escorrentía, ríos, arroyos, entre otros. Dicha vegetación, extrae los nutrientes provenientes del suelo o del agua y los dejan fijos en su estructura hasta que sean liberados al ambiente nuevamente, ya sea porque la vegetación muere o porque es cosechada para obtener alimentos o materiales de construcción.

La capacidad natural de los humedales para retener nutrientes y sedimentos es una de las causas de que los humedales artificiales se utilicen cada vez más como plantas de tratamiento del agua. Esta capacidad se limita, cuando por causas antrópicas se aumentan los nutrientes, ocurriendo un proceso llamado eutrofización, originado normalmente por la escorrentía de aguas residuales o fertilizantes, lo que genera crecimientos masivos de algas que privan a las plantas y animales acuáticos de oxígeno y luz, llegando a eliminar totalmente las condiciones originales del humedal.⁵⁰

7.3.3 SERVICIO DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS

A continuación, se observan los resultados obtenidos de sólidos sedimentables para cada humedal, los puntos tenidos en cuenta son los mismos seleccionados para la toma de muestras de parámetros físico-químicos.

Tabla 24. Resultados sedimentos en el humedal El Manantial
(temporada lluvias-sequia)

HUMEDAL EL MANANTIAL	PRUEBA	LLUVIAS	SEQUIA
Punto de muestreo 1	Solidos totales (mg/L)	96	94
	Solidos sedimentables (ml/L)	0,1	0,07
Punto de muestreo 2	Solidos totales (mg/L)	98	94
	Solidos sedimentables (ml/L)	0,5	0,2
Punto de muestreo 3	Solidos totales (mg/L)	96	95
	Solidos sedimentables (ml/L)	0,8	0,3
Punto de muestreo 4	Solidos totales (mg/L)	97	97

⁵⁰ CONVENCIÓN RAMSAR. Funciones ecosistémicas de los humedales.2010.

	Solidos sedimentables (ml/L)	0,9	0,5
--	------------------------------	-----	-----

Fuente: Investigación propia

Tabla 25 Resultados sedimentos en el humedal Las Piedras del Tunjo (temporada lluvias-sequia)

HUMEDAL LAS PIEDRAS DEL TUNJO	PRUEBA	LLUVIAS	SEQUIA
Punto de muestreo 1	Solidos totales (mg/L)	107	96
	Solidos sedimentables (ml/L)	4,0	2,6
Punto de muestreo 2	Solidos totales (mg/L)	458	449
	Solidos sedimentables (ml/L)	20,7	15,1
Punto de muestreo 3	Solidos totales (mg/L)	399	392
	Solidos sedimentables (ml/L)	19,7	16,1
Punto de muestreo 4	Solidos totales (mg/L)	490	478
	Solidos sedimentables (ml/L)	38,3	35,1

Fuente: Investigación propia

Tabla 26 Resultados sedimentos en el humedal Las Tinguas (temporada lluvias-sequia)

HUMEDAL LAS TINGUAS	PRUEBA	LLUVIAS	SEQUIA
Punto de muestreo 1	Solidos totales (mg/L)	103	94
	Solidos sedimentables (ml/L)	7.7	7.2
Punto de muestreo 2	Solidos totales (mg/L)	248	235
	Solidos sedimentables (ml/L)	19.5	18.8
Punto de muestreo 3	Solidos totales (mg/L)	396	368
	Solidos sedimentables (ml/L)	21.0	20.7

Fuente: Investigación propia

La acumulación de gran cantidad de sedimentos en un humedal puede alterar sus funciones biológicas, el almacenamiento de aguas de inundación, y el intercambio de agua subterránea.

La cantidad de sedimento acumulado en las corrientes de los ríos puede ser 90% menor en las cuencas, donde el 40% del área está compuesto de lagos y humedales que en aquellas desprovistas de tales hábitats. Los humedales situados en depresiones retienen todos los sedimentos que entran en ellos y aquellos en pendientes pueden retener hasta un 80%.⁵¹

En el humedal El Manantial, no se presenta demasiada acumulación de sedimentos (fotografía 6), dado que el valor de sólidos sedimentables está en el rango de 0,07 a 0,9 ml/L y el de sólidos totales de 96 a 98 mg/L, lo cual indica que está en la capacidad de regularlos y distribuirlos en todo el sistema, es importante resaltar que este humedal no presenta vertimientos directos de aguas residuales ni alteraciones antrópicas en su funcionamiento, razón por la cual se puede decir que el humedal está en la capacidad de prestar el servicio de retención de sedimentos.

Fotografía 2. Humedal El Manantial



Fuente: Investigación propia

⁵¹ PATRICK, Duran. Conservación de humedales. Suiza. UICN, 1992.

Los resultados de sólidos totales, en los dos humedales fragmentados (las Piedras del tunjo y las Tinguas), fueron de 94 a 490 mg/L y los sólidos sedimentables de 2,6 a 38,3, estos valores evidencian que se está presentando acumulación de sedimentos, lo que está ocasionando alteración de otros servicios ecosistémicos, asociados a actividades antrópicas relacionadas a la erosión y vertimientos.

7.3.3.1 Análisis del servicio de retención de sedimentos en relación a la fragmentación

El humedal Las Piedras del Tunjo, se encuentra fragmentado en cuatro partes. En el fragmento 1 el humedal presenta acumulación de sedimentos, pero no los suficientes para perjudicar el funcionamiento de este; mientras que en el fragmento 2 se evidencia la presencia de un vertimiento de tipo doméstico, lo que aumenta significativamente los sedimentos generando que el sistema sea incapaz para regular y distribuirlos y así en los fragmentos 3 y 4 los sedimentos están aumentando, lo que está disminuyendo significativamente la masa de agua.

Fotografía 3. Fragmentos humedal Las Piedras



(Fragmento 1)



(Fragmento 3)



(Fragmento 2)



(Fragmento 4)

Fuente: Investigación propia.

Caso parecido sucede en el humedal Las Tinguas, el cual se encuentra fragmentado en tres partes, en el fragmento 1, los sedimentos no se encuentran en gran cantidad, mientras que en el fragmento 2, el humedal está recibiendo vertimiento, los cuales provienen de la urbanización Villa Ivonne, razón por la cual los sedimentos aumentan significativamente, lo que está haciendo que la profundidad en el cuerpo de agua disminuya. El fragmento 3 se encuentra dividido por una vía y a su vez recibe vertimientos directos de aguas residuales, en esta zona los sedimentos retenidos aumentan significativamente, impidiendo la recirculación en el sistema y finalmente, estas aguas son canalizadas mediante un box culvert que las lleva directamente al río Botello (fotografía 8).

Se puede concluir que el humedal está perdiendo la capacidad de ser retenedor de sedimentos y esto puede afectar otras de sus funciones.

Fotografía 4. Fragmentos humedal Las Tinguas



(Fragmento 1)



(Fragmento 2)



(Fragmento 3)



Box Culvert

Fuente: Investigación propia

7.3.4 SERVICIO DE CAPTURA DE CARBONO

Finalmente, para la selección de las especies que serán evaluadas como captadoras de carbono, se tomó como línea base el estudio de la fundación ALMA, donde las especies más abundantes deberían estar presentes en los tres humedales objeto de estudio, en todos los fragmentos. Por lo anterior las especies seleccionadas fueron:

Tabla 27 Especies comunes en los tres humedales

Especie	Nombre Común
<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce llorón
<i>Polygonum punctatum</i>	Barbasco

Fuente: Investigación propia

7.3.4.1 Resultados estimación de captura de dióxido de carbono

En la tabla 28 se muestran los resultados de captura de carbono para las dos especies seleccionadas en cada humedal.

Tabla 28. Cantidad de carbono captada en los tres humedales

	EL MANANTIAL			LAS PIEDRAS DEL TUNJO		LAS TINGUAS	
	<i>Polygonum unctatum</i>	<i>Salix babylonica</i>		<i>Polygonum unctatum</i>	<i>Salix babylonica</i>	<i>Polygonum unctatum</i>	<i>Salix babylonica</i>
Replica 1	29,41 tC/ha	10,10 tC/ha	Frag 1	10,03 tC/ha	19,58 tC/ha	18,2 tC/ha	27,79 tC/ha
Replica 2	25,28 tC/ha	7,21 tC/ha	Frag 2	5,28 tC/ha	12,64 tC/ha	33,27 tC/ha	22,08 tC/ha
Replica 3	20,81 tC/ha	17,68 tC/ha	Frag 3	37,89 tC/ha	11,12 tC/ha	2,51 tC/ha	11,81 tC/ha
			Frag 4	4,12 tC/ha	10,8 tC/ha		

Fuente: Investigación propia

En el ensayo y en el blanco se usaron las mismas cantidades de reactivos, pero como en la muestra vegetal existe un segundo reductor que es el carbono orgánico, parte de él es usado en la oxidación de esta. La cantidad extra de sulfato ferroso

usada en la titulación del blanco es una medida indirecta de la cantidad de C.O que ha sido oxidada por el dicromato de potasio.

El peso equivalente del carbono oxidado es 3, únicamente la materia orgánica es oxidada, este procedimiento oxida alrededor del 77% total de materia orgánica presente en la muestra.

Dado que la biomasa está compuesta aproximadamente por el 80% de agua y 20 % de sustancias minerales, como se observa en la ilustración 17.

Ilustración 30. Distribución de nutrientes en la biomasa

El 20% que no es agua se subdivide en:
Carbono (C) 42%
Oxígeno (O) 44%
Hidrógeno (H) 6%
Nitrógeno (N) 2%
Fósforo (P) 0,4%
Potasio (K) 2,5%
Calcio (Ca) 1,3%
Magnesio (Mg) 0,4%
Azufre (S) 0,4%
Todos los micronutrientes combinados 1%

Fuente: Shago Franqui

Tabla 29. Captura de carbono vs densidad de especies

HUMEDAL	ESPECIES VEGETALES		Densidad Arbórea m ²	% De Captura De Co ₂
	Nombre común	Nombre científico		
El Manantial	Barbasco	<i>Polygonum punctatum</i>	29,330	25,16
	Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	38,455	11,66
Las Piedras Del Tunjo	Barbasco	<i>Polygonum punctatum</i>	953,87	17,73
	Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	206,38	14,44
Las Tinguas	Barbasco	<i>Polygonum punctatum</i>	583,95	17,99

	Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	1985,43	20,56
--	--------------	-------------------------	---------	-------

Fuente: Investigación propia

Como se observa en la tabla anterior, para los humedales El Manantial y Las Piedras del Tunjo la especie *Polygonum punctatum*, presenta un mayor porcentaje de captura de carbono, con un 25,16 y un 17,73. Por otra parte, en el humedal las Piedras del Tunjo, el *Polygonum punctatum* es la especie que captura un mayor porcentaje de carbono, esto debido a que es más abundante, respecto al Sauce Llorón.

Mientras que en el humedal Las Tinguas el Sauce Llorón captura un 20,56 %, siendo la especie más eficiente en captura carbono. El Sauce llorón no presenta una competencia directa de otras especies, dado que es el que posee la mayor altura. En este caso el ecosistema está altamente eutrofizado, lo que hace que exista una competencia directa entre las plantas hidrófilas y el barbasco, lo que limita las condiciones óptimas para su desarrollo.

Al comparar los resultados obtenidos con el estudio realizado por Ana María Aldana, bióloga de la Universidad de los Andes, quien ha monitoreado la vegetación en los bosques de tierras bajas en diferentes puntos del país desde hace diez años y quien concluyó que las parcelas que están en bosques inundables tienen árboles con maderas más densas, por tanto, contienen más carbono. Pero como estos árboles tienen la presión de la inundación, crecen más lento y, comparativamente, acumulan menos carbono, lo que sería el caso del barbasco.

7.3.4.2 Análisis del servicio de captura de carbono en relación a la fragmentación

Al establecerse la capacidad para la captura de carbono por parte de los humedales Las Tinguas, Las Piedras y El Manantial, se busca brindar un panorama general donde se relacione la presencia y la abundancia del Barbasco (hidrófila) y del Sauce Llorón (terrestre) con la fragmentación de dichos ecosistemas. Este análisis arroja que cada especie se adapta de forma diferente a las condiciones del ecosistema y según los resultados obtenidos, la fragmentación no es un limitante para el desarrollo de dicho servicio ecosistémico. Como si lo son la abundancia, que condiciona la capacidad de la especie para captar carbono; el grado de competencia por los recursos, siendo más evidente en escenarios eutrofizados, así como la cantidad de emisiones de CO₂ disponibles para la vegetación del humedal.

Para que las especies tengan unos rangos aceptables de captura de carbono, debe garantizarse el suministro de elementos necesarios para su desarrollo y no debe disturbarse el ecosistema al punto de la eutrofización.

Con el estudio realizado se logró determinar la cantidad de carbono captado por las especies *Polygonum punctatum* y *Salix babylonica*, pero para saber cuál es la capacidad de capturar carbono por parte de un humedal, es necesario repetir este proceso año tras año, evaluando el flujo de carbono y midiendo la cantidad de biomasa que gana o pierde el humedal en el tiempo, con la deforestación, por ejemplo, los humedales dejan de ser sumideros de carbono y se convierten en puntos de emisión de gases.

Colombia está comprometido con la mitigación del cambio climático, evidencia de esto es que en el primer semestre de 2016, se empezó a negociar bonos de carbono. Esta estrategia requiere conocer cuánto carbono acumulan los bosques y humedales del país. Dicho mercado de bonos de carbono tiene una particularidad: entre más exactos sean los datos sobre captura de carbono, mayor es su precio. Por esto, varios investigadores se han puesto el reto de calcular la cantidad de carbono que tienen los bosques y humedales. También la Bolsa Mercantil de Colombia (BMC) pondrá a circular bonos de carbono voluntarios en una plataforma de negociación. Es decir, los gobiernos de países industrializados y las empresas podrán canjear sus impactos sobre el cambio climático, al comprar una o varias toneladas de dióxido de carbono equivalente que no serán emitidas a la atmósfera gracias a algún proyecto ambiental certificado que se desarrolla en Colombia.⁵²

7.4 VALORACIÓN ECONÓMICA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

7.4.1 Muestra poblacional

La muestra poblacional indica el número de hogares seleccionados en la zona de influencia de cada humedal, lo que indica el número de encuestas a realizar, lo cual se muestra en la tabla 30.

⁵² SAMANIEGO, José. Mercado de carbono en Colombia. 2017.

Tabla 30. Tamaño poblacional

HUMEDAL	NUMERO DE HOGARES	TAMAÑO DE LA MUESTRA
EL MANANTIAL	380	58
LAS PIEDRAS DEL TUNJO	288	55
LAS TINGUAS	166	49
TOTAL	834	162

Fuente: Investigación propia

7.4.2 Interpretación de la correlación

Al emplearse un coeficiente de correlación como medida de la intensidad de la relación lineal entre dos variables, esta es puramente matemática y libre de cualquier implicación de causa-efecto. El hecho de que las dos variables tiendan a crecer o decrecer juntas no indica que la una tenga un efecto directo o indirecto sobre la otra. Ambas pueden estar afectadas por otras variables de modo que se origine una fuerte relación matemática.

La escala de interpretación seleccionada oscila entre -1 y $+1$, donde el valor 0 indica que no existe asociación lineal entre las dos variables en estudio⁵³:

Correlación negativa perfecta	-1
Correlación negativa fuerte moderada débil	-0,5
Ninguna correlación	0
Correlación positiva moderada Fuerte	+0,5
Correlación positiva perfecta	+ 1

El formulario de encuesta jugó un papel trascendental en la correcta aplicación del método de valoración contingente. De acuerdo con Azqueta (1994) el formato de las encuestas tuvo la siguiente estructura:

⁵³ TORRES, J.A; QUESADA, M. Asociación entre dos variables. Variables cuantitativas y coeficientes de correlación. USA: Editorial ECIMED, 2004.

- En la primera parte, se expuso la información acerca del bien o servicio en cuestión, de modo que el entrevistado posea todas las herramientas para identificar el problema a tratar.
- En el segundo bloque, se incluyó la información respecto a las modificaciones, en cuanto a calidad y cantidad, que se llevarán a cabo en el servicio ambiental. Dentro de este segundo bloque también se incluyó información del modo de pago, es decir, si será sujeto a una compensación o si tendrá que pagar por dicha modificación y cómo, vía impuestos, una aportación, etc.
- Por último, en el tercer bloque de información, se deben incluir todos aquellos datos socioeconómicos del entrevistado que son relevantes en la toma de decisiones de valoración y que también son imprescindibles en el correcto manejo del método.

Una vez realizadas las encuestas, se recopiló la información en una base de datos, donde las variables se codificaron para abreviar la forma de introducir los datos obtenidos.

La primera columna de cada tabla es la disposición a pagar por cada proyecto, las filas correlacionan cada variable con la primera columna, los valores con asterisco (*) son las correlaciones estadísticamente significativas.

Valoración del servicio de recarga de acuíferos

	disp_h~d	vacui_~l	vacui_~t	vacui_~q	vacui_~s	vacui_~v	vacui_~a
disp_humed	1.0000						
vacui_cal	0.0356	1.0000					
vacui_cant	0.1051*	0.0813*	1.0000				
vacui_freq	-0.1091*	-0.0962*	-0.0126	1.0000			
vacui_acces	-0.1103*	-0.1553*	-0.1417*	-0.0377	1.0000		
vacui_cons~v	0.0041	0.1558*	0.2090*	-0.0260	0.0342	1.0000	
vacui_asocia	0.0102	0.0689*	0.0436	0.0826*	0.0559*	0.1081*	1.0000
import_vac~r	0.0077	0.0844*	-0.0520	-0.0940*	0.0846*	0.1015*	0.0802*
import_vac~v	0.0267	0.1127*	0.0691*	0.1297*	-0.0354	0.0553*	0.1130*
import_vac~l	-0.0148	0.0113	0.0259	0.3840*	-0.0473	0.0477	0.0723*
import_va~lo	-0.2282*	0.1390*	0.1019*	-0.0504	-0.0682*	0.1989*	0.0107
import_va~go	-0.0425	0.0376	-0.0643*	0.1454*	-0.0451	0.1589*	0.1768*

La disposición a pagar de las personas tiene una correlación estadísticamente significativa con las variables Vacui_cant, Vacui_freq, Vacui_acces, Import_Vacui_ciclo. Esto quiere decir que la disposición a pagar por un proyecto de recarga de acuíferos es significativa al 95 % cuando por cambios en la cantidad,

frecuencia y acceso, y no es estadísticamente significativo para las demás variables, es decir, no existe correlación estadísticamente significativa.

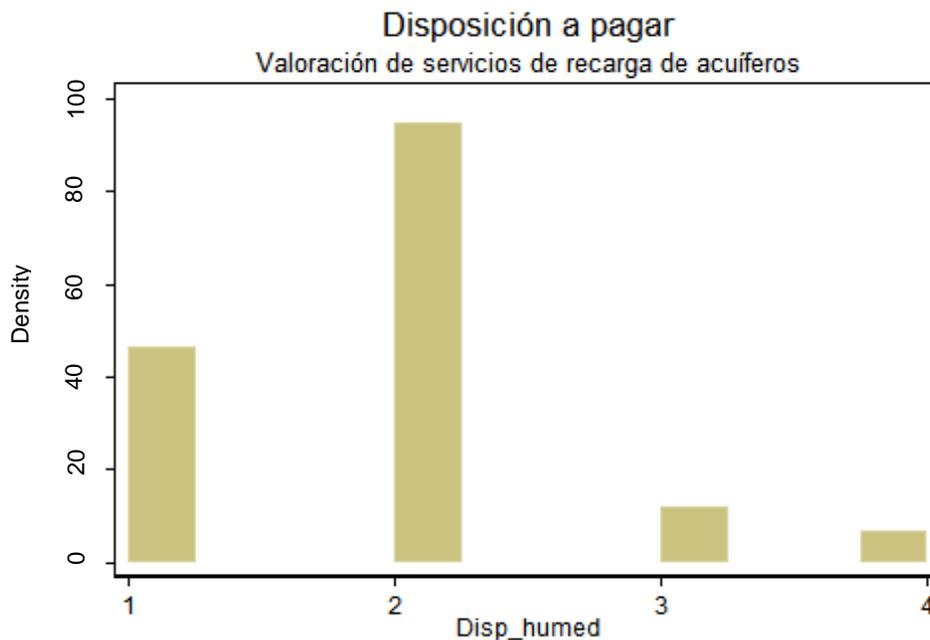
Donde:

Vacui_cant: Cantidad de agua que obtiene es la suficiente para sus actividades diarias.

Vacui_freq: Durante todo el año su vivienda cuenta con agua.

Vacui_acces: Las fuentes de agua que utiliza son de fácil acceso.

Import_Vacui_ciclo: Regulación del ciclo hidrológico



Gráfica 7. Disposición a pagar por el servicio de recarga de acuíferos

La mayoría de los hogares encuestados estarían dispuestos a aportar a un proyecto de recuperación de la ronda hídrica, un valor de \$21.000 a \$60.000. Lo que indica que, aunque el servicio lo consideran importante, no están dispuestos a aportar más del 10% de sus ingresos, dado que la mayoría de las personas encuestadas aseguran tener ingresos entre 1 y 2 SMLV.

Valoración del servicio de retención de nutrientes

	disp_n~i	vnutri~l	vnutri~o	vnutri~s	vnutri~i	vnutri~n	vnutri~m
disp_nutri	1.0000						
vnutri_cal	-0.0545*	1.0000					
	0.4907						
vnutri_cue~o	0.1055*	-0.0399	1.0000				
	0.1814	0.6143					
vnutri_jab~s	0.0110	0.0231	-0.0284	1.0000			
	0.8895	0.7708	0.7202				
vnutri_verti	-0.0470	0.0069	0.0265	0.1540*	1.0000		
	0.5529	0.9306	0.7382	0.0504			
vnutri_buc~n	0.0014	-0.0209	0.0161	0.1067*	-0.1571*	1.0000	
	0.9856	0.7914	0.8392	0.1767	0.0459		
vnutri_ver~m	0.0284	-0.0479	-0.1172*	0.1453*	-0.1187*	0.0927*	1.0000
	0.7199	0.5447	0.1376	0.0650	0.1325	0.2405	
import_vnu~s	-0.0500	-0.0903*	-0.0761*	0.0270	0.0562*	-0.2006*	0.0342
	0.5272	0.2532	0.3356	0.7327	0.4778	0.0105	0.6654
import_vnu~l	0.0072	-0.0406	-0.0064	-0.1121*	-0.0343	0.0308	0.0405
	0.9275	0.6078	0.9357	0.1554	0.6652	0.6973	0.6093
import_vnu~2	-0.0854*	-0.0285	-0.0697*	0.0442	-0.0234	0.0562*	-0.1671*
	0.2800	0.7190	0.3782	0.5767	0.7680	0.4775	0.0335
import_vnu~n	-0.0706*	0.0055	-0.0699*	0.0311	-0.0486	-0.0245	-0.0861*
	0.3718	0.9446	0.3767	0.6941	0.5388	0.7572	0.2762
disp_nutri	1.0000*	-0.0545*	0.1055*	0.0110	-0.0470	0.0014	0.0284
	0.0000	0.4907	0.1814	0.8895	0.5529	0.9856	0.7199

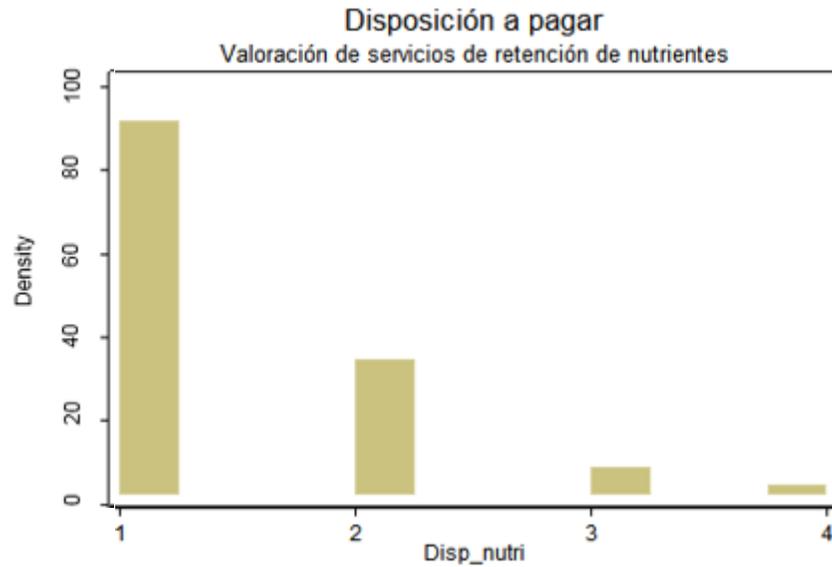
El servicio de retención de nutrientes, las variables Vnutri_cal, Vnutri_cuerpo, Import_Vnutri_aport2 Import_Vnutri_reten son estadísticamente significativa e influyen en la decisión de los hogares para la ejecución del proyecto.

Vnutri_cal: El agua que obtiene para su vivienda es de buena calidad.

Vnutri_cuerpo: El agua que usted desecha es producto de sus labores diarias va directamente a algún cuerpo de agua.

Import_Vnutri_aport2: Aporte de nutrientes a la vegetación presente en el humedal y alrededores.

Import_Vnutri_reten: La retención de nutrientes en los humedales hace que sea uno de los ecosistemas más productivos.



Gráfica 8. Disposición a pagar por el servicio de retención de nutrientes

Para contribuir mensualmente por el mantenimiento y conservación del humedal, de tal manera que se asegure la calidad del agua suministrada, los encuestados estarían dispuestos a aportar un valor de \$5.000 a \$20.000. Por lo cual se puede deducir que no les parece importante este servicio ecosistémico.

Valoración del servicio de retención de sedimentos

	disp_s~m	vsedim~l	vsedim~p	vsedim~o	vsedim~f	vsedim~m	import~m
disp_sedim	1.0000						
vsedim_cal	-0.0503 0.5251	1.0000					
vsedim_limp	0.1473* 0.0614	-0.0896* 0.2571	1.0000				
vsedim_remo	-0.1582* 0.0444	-0.0934* 0.2373	-0.1216* 0.1232	1.0000			
vsedim_purif	0.0559* 0.4797	-0.0886* 0.2623	0.0775* 0.3271	-0.0596* 0.4515	1.0000		
vsedim_tra~m	0.0853* 0.2804	0.0332 0.6745	0.1122* 0.1551	-0.0248 0.7540	-0.0432 0.5848	1.0000	
import_vse~m	-0.0342 0.6655	-0.0569* 0.4724	0.0825* 0.2968	-0.1635* 0.0376	0.0183 0.8167	0.0046 0.9533	1.0000
import_vse~u	0.0266 0.7368	-0.0075 0.9247	0.0455 0.5650	-0.1497* 0.0572	0.0654* 0.4081	0.3136* 0.0000	-0.0381 0.6302

El servicio de retención de sedimentos, las variables estadísticamente significativas son Vsedim_limp, Vsedim_remo, Vsedim_purif, Vsedim_tratam.e influyen en la decisión de los hogares para la ejecución del proyecto.

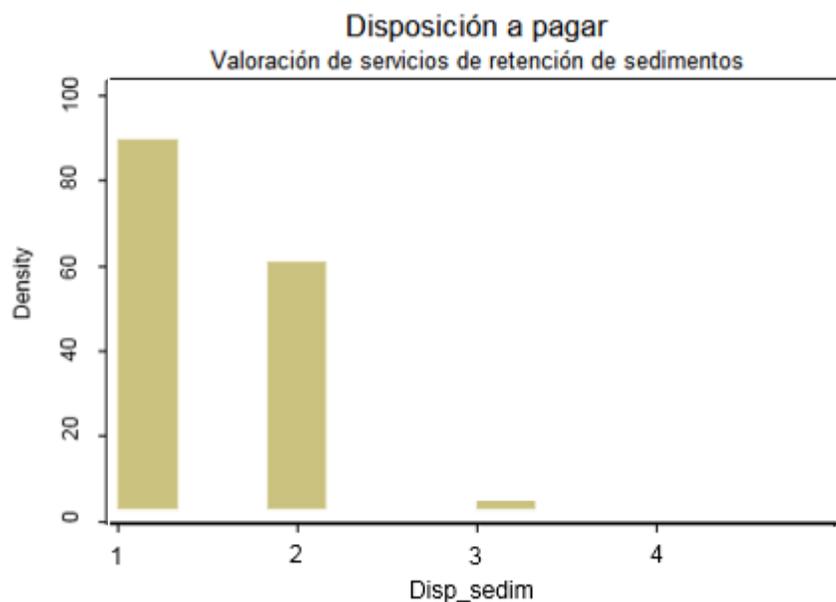
Donde:

Vsemid_limp: La limpieza de la red de alcantillado es frecuente y oportuna.

Vsedim_remo: Se realiza remoción de sedimentos presentes en la ronda hídrica del humedal.

Vsedim_purif: Un humedal cumple la función de purificador de sedimentos.

Vsedim_tratam: La capacidad de los humedales para tratar sedimentos es limitada.



Gráfica 9. Disposición a pagar por el servicio de retención de sedimentos

Los encuestados están dispuestos a contribuir mensualmente por la extracción de sedimentos del humedal, de tal manera que se asegure la calidad del agua suministrada, un valor de \$5.000 a \$20.000. Por lo cual se puede deducir que no les parece importante este servicio ecosistémico.

Correlación disposición a pagar y nivel de ingreso

	ingreso	disp_h~d	disp_n~i	disp_s~m	disp_a~e
ingreso	1.0000				
disp_humed	0.1347* 0.0875	1.0000			
disp_nutri	0.0796* 0.3143	0.0437 0.5808	1.0000		
disp_sedim	-0.0893* 0.2586	-0.0361 0.6483	0.0305 0.7002	1.0000	
disp_aire	0.0445 0.5738	-0.1510* 0.0552	-0.0276 0.7277	0.0783* 0.3221	1.0000

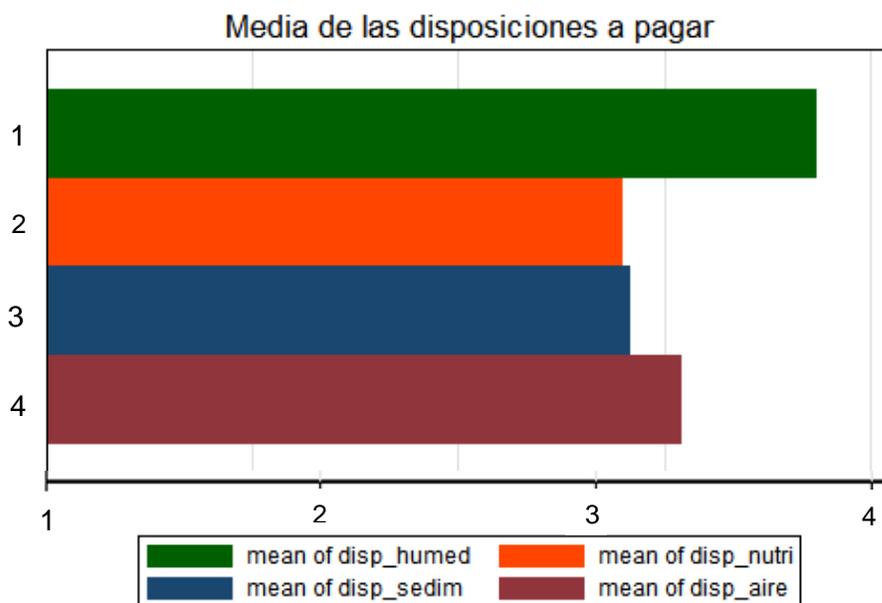
El nivel de ingreso explica las decisiones de todas las disposiciones a pagar excepto de la del servicio de aire. Y hay una correlación negativa entre ingreso y disposición a pagar del servicio de remoción de sedimentos.

A continuación, se muestran los resultados para la variable disposición a pagar por parte de los encuestados, donde se incluyó la media de los datos.

Las variables a tener en cuenta son:

- disp_humed: ¿Cuánto estaría dispuesto a contribuir mensualmente con el fin de conservar y proteger los humedales de tal manera que se garantice suministro de agua?
- disp_sedim: ¿Cuánto estaría dispuesto a contribuir mensualmente para la extracción de sedimentos del humedal, de tal manera que se asegure la calidad del agua suministrada?
- disp_nutri: ¿Cuánto estaría dispuesto a contribuir mensualmente por el mantenimiento y conservación del humedal, de tal manera que se asegure la calidad del agua suministrada?
- disp_aire: ¿Cuánto estaría dispuesto a contribuir mensualmente con el fin de conservar y proteger el humedal, de tal manera que se asegure la calidad del aire?

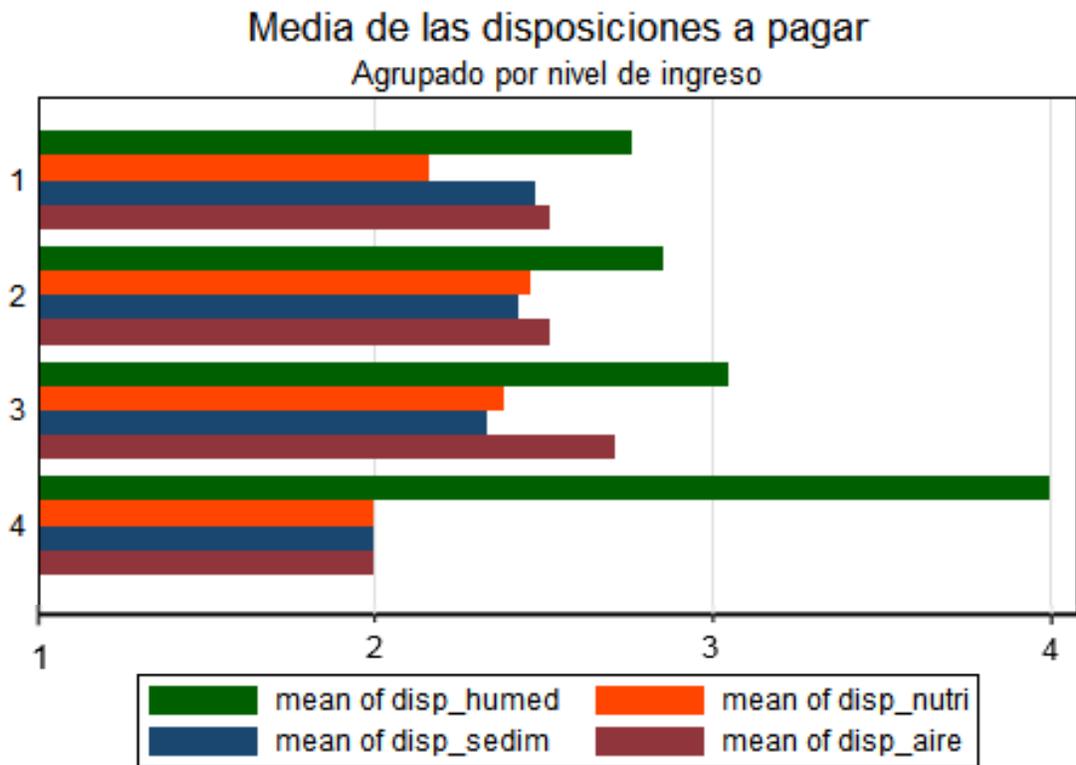
Gráfica 10. Disposición a pagar por servicio ambiental



Fuente: Investigación propia

De los hogares encuestados, la mayor cantidad le dan prioridad a conservar y proteger los humedales de tal manera que se garantice el suministro de agua, siendo el servicio más importante el de la recarga de acuíferos y el menos importante el de retención de nutrientes, dado que no aportarían demasiado dinero para su preservación.

Gráfica 11. Disposición a pagar según el nivel de ingresos



Fuente: Investigación propia

Dentro de los cuatro niveles de ingresos en que los encuestados se ubicaron, al servicio que más importancia otorgan es al de recarga de acuíferos, por el cual están dispuestos a aportar más de 3 SMLV. Mientras que por el servicio de retención de sedimentos, no se aportaría mucho dinero.

7.4.3 Análisis de relación de la fragmentación de los humedales y los servicios ecosistémicos dada su valoración económica

Se puede concluir a partir de la investigación realizada, la estrecha relación entre la fragmentación que puede generarse en un humedal, con la disminución de los servicios ecosistémicos evaluados, en el caso de los humedales Las Piedras del tunjo y Las Tinguas, en los cuales se el servicio de recarga de acuíferos está en siendo afectado en gran medida, por las condiciones negativas presentadas. Partiendo de que, en la valoración económica, la población encuestada muestra un

interés significativo por aportar los recursos necesarios para la protección y recuperación de dicho servicio en los humedales. Por otro lado, en el caso del Manantial, se evidencia que debido a su estado de conservación, el servicio de recarga de acuíferos está presente.

En contraste con lo que sucede con los servicios de retención de nutrientes y sedimentos, los cuales ya no se prestan en los humedales Las Piedras y Las Tinguas, debido a la fragmentación y pérdida de resiliencia de dichos ecosistemas. Igualmente a la población la ausencia de estos servicios les resulta indiferente, aunque estarían dispuestos a aportar un menor valor de sus ingresos para recuperarlo. En cuanto a esto, el humedal El Manantial conserva sus funciones de redistribución de nutrientes y almacenamiento de sedimentos.

Finalmente, en cuanto al servicio de captura de carbono, se evidencio que aunque el Manantial no se encuentra fragmentado ni presenta alteraciones, las especies vegetales evaluadas como captadoras, cuentan con condiciones de competencia con especies. Mientras que en los humedales Las Piedras y Las Tinguas, el servicio se presta de forma óptima, debido a que las especies analizadas, presentaron una respuesta adecuada a las alteraciones del ecosistema y un alto grado de resiliencia. La valoración económica de la captura de carbono estuvo en segundo lugar de importancia para las personas encuestadas dentro del casco urbano, dadas las condiciones de contaminación puntual y difusa en el aire.

Para concluir se puede relacionar que la reducción en el tamaño de los fragmentos da lugar a una progresiva pérdida de las especies y características que albergan, en cuanto menor sea su superficie.⁵⁴ En cuanto a la valoración de estos servicios por parte de los hogares encuestados, se evidencia que se tiene una mayor disposición a pagar por los servicios que presta el humedal de manera óptima y que además pueden generales beneficios directos en el futuro; caso de los servicios recarga de acuíferos y captura de carbono. En contraste con los servicios de retención de nutrientes y de sedimentos que al verse casi eliminados del humedal, debido a las condiciones de fragmentación y contaminación, no se tienen en cuenta como importantes para las personas.

⁵⁴ SANTOS, T; TELLEIRA, J. Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. Madrid, España. Universidad Complutense. 2006.

8 CONCLUSIONES

- Si los humedales las Tinguas y la Piedras del Tunjo, los cuales están fragmentados, continúan recibiendo vertimientos directos se perderá por completo el servicio de retención de sedimentos, dado que se colmatarán y no estarán en la capacidad de recircular dichos sedimentos.
- Cuando los humedales se encuentran fragmentados se puede decir que entran en un estado de fragilidad que les puede ocasionar la pérdida de sus funciones, debido a que cada fragmento se convierte en una unidad independiente, en la cual el área disminuye, ocasionando la pérdida de su resiliencia.
- Cuando un humedal se encuentra en estado natural, puede estar en la capacidad de oponer resistencia a actividades antrópicas, sin llegar a perder todas sus funciones ecosistémicas; mientras que si este se encuentra fragmentado estas perturbaciones ocasionan la pérdida de las funciones en el mismo; teniendo en cuenta que los fragmentos de menor área serán los más afectados.
- Como se evidencia en la presente investigación, los humedales son ecosistemas con funciones biológicas e hidrológicas complejas, en los cuales la retención de nutrientes y sedimentos se dan de manera estacional, siendo capaces de ser sumideros.
- En los humedales Las Tinguas y Las Piedras mediante la determinación de nitratos, se puede llegar a concluir que parte de la contaminación proviene de vertimientos domésticos, reflejándose en los altos niveles de DBO₅ y DQO, lo que está ocasionando la baja calidad del cuerpo de agua.
- Teniendo en cuenta los perfiles de suelo de la zona de estudio de cada humedal, se evidencia que el nivel freático está en un rango de 1.50 a 3.0 metros próximos a la superficie topográfica, por lo cual se puede garantizar que la infiltración está realizando la recarga de acuíferos.

9 RECOMENDACIONES

- Es importante que las autoridades municipales y los habitantes de la zona aledaña a la ribera de los humedales, tomen las medidas para minimizar los impactos generados y de esta forma evitar la pérdida total del área de los humedales.
- Es importante dedicar más esfuerzos y recursos económicos del municipio a la restauración de las zonas de humedales y sobre todo los que se encuentran fragmentados, lo cual ayudará a la recuperación de la ronda, regeneración del suelo, rehabilitación de la flora y fauna y mejoramiento de los corredores ecológicos.
- Se hace necesario realizar la caracterización de los vertimientos descargados a los humedales las Piedras del Tunjo y las Tinguas con el fin de buscar una solución y evitar la pérdida de calidad del agua.
- Las autoridades Municipales y la Corporación Autónoma Regional, deben buscar la forma de disminuir y controlar el exceso de sedimentos, especialmente en el humedal las Piedras del Tunjo, dado que estos están ocasionando la colmatación del mismo y la disminución del espejo de agua.
- Se debe evitar la construcción de cualquier tipo de inmueble, desarrollo urbanístico o proyecto vial en la cercanía de los humedales para evitar que se produzcan más fragmentaciones.
- Las entidades gubernamentales del municipio de Facatativá, están en la obligación de generar prácticas para mejorar la calidad en estos ecosistemas, para lo cual se recomienda realizar un aislamiento mediante mallas para evitar que se sigan generando contaminación.
- Para el presente trabajo se realizó la determinación de nitratos con el fin de evaluar la retención de nutrientes en los humedales; pero, también sería válido determinar la presencia de nitritos si el objetivo fuera realizar una valoración inmediata de la contaminación.

- Tener datos más exactos de las reservas de carbono puede generar mejores estrategias de conservación y mitigación ante el cambio climático por parte de la región y así del país.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Facatativá . (2014). Protección y Conservación de los humedales en Facatativá . *Humedales en Facatativá* , 6-8 .
- Alcaldía de Facatativá. (2016). *Plan de Desarrollo municipal 2016-2019*. Facatativá.
- Andrade, G. (2011). ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LA BIODIVERSIDAD EN COLOMBIA Y SUS AMENAZAS. CONSIDERACIONES PARA FORTALECER LA INTERACCIÓN CIENCIA-POLÍTICA. *Scielo*.
- Angelone, S., & Garibay, M. (Septiembre de 2006). *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ROSARIO*. Obtenido de PERMEABILIDAD DE SUELO: <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf>
- ANLA. (2014). Obtenido de Valoración Económica- Instrumentos Económicos del Impacto Ambiental : www.anla.gov.co/valoración-económica-instrumentos-económicos-evaluación-impacto-ambiental
- APHA. (2001). *Standard Methods for the Examination*. Washington: AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION.
- Aqueta, D., & Ferreira, A. (1994). *análisis económico y gestión de recursos naturales* . Madrid : Alianza editorial ,S:A.
- Bustamante, R. (1995). Consecuencias Ecológicas de la Fragmentación de los Bosque Nativos. *Ciencia y Ambiente*, 58-60.
- CIFOR . (2006). *Pago por Servicios Ambientales* . Obtenido de ¿ Que son servicios ecosistemicos ? : www.cifor.org/pes/_ref/sp/sobre/ecosystem_services.htm
- CONVENCION RAMSAR. (2010). *Funciones ecosistemicas de los humedales*.
- CORPOICA. (2013). *Guía toma de muestras de suelos*. Colombia.
- Cortina, S. (2007). *Servicios ecosistemicos y actores sociales* .
- Delgadillo, O., & Perez, L. (2016). *Medición de la infiltración del agua en el suelo*. Bolivia: PNC.

- Dugan, P. (1992). *Conservacion de humedales*. Suiza: UICN.
- Dugan, P. (1992). *Conservación de Humedales*. Suiza.: UICN.
- FAO. (2006). *Guía para la descripcion de suelo*. 4ª edición.
- FAO. (2017). *Portal de Suelos de la FAO*. Obtenido de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Fundación ALMA. (2017). *Caractrizacion de la vegetacion y la avifauna presente en el humedal El Manantial, con el fin de generar acciones locales y participativas para su conservacion* . Facatativá.
- Fundacion ALMA; CAR. (2017). *Construcción participativa de acciones locales de manejo y gestion integral de los humedales de Las Tinguas y Piedras del Tunjo, Facatativa*. Bogotá.
- Gavilán, L. G. (2011). Obtenido de Valoración económica de la biodiversidad, oportunidades y riesgos.
- Gomez, A. M. (2005). Analisis de fragmentacion de los ecosistemas boscosos de los Andes colombianos. 13-27.
- GURRUTXAGA, M. (2003). *Índices de fragmentación y conectividad para el indicar de biodiversidad y paisaje*. España: Biodibertsitatea eta paisaia.
- ICM. (2015). *Análisis de Nutrientes*. Obtenido de <http://anqui.icm.csic.es/es/site-page/f%C3%B3foro-total-tp-por-colorimetr%C3%ADa-y-cfa>
- IDEAM. (2007). *Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales*. Bogotá: Subdreccion de Hidrologia.
- IDEAM. (2007). *Solidos totales secados a 103 - 105°C*. Bogotá.
- IDEAM. (2014). *MEDICION DE LA HUMEDAD DEL SUELO* . Obtenido de
CAPÍTULO 15:
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/012406/Cap15.pdf>
- Instituto Humboldt. (2014). *La biodiversidad y los servicios ecosistemicos*.
- Instituto Humboldt . (2014). *Insumos técnicos para la delimitación de ecosistemas estrategicos priorizados (paramos y humedales)*. Bogotá.
- Mezquida, R. (2012). *Toma de muestras*. CVS.

- Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. (2012). *Política Nacional Para La Gestión Integral De La Biodiversidad Y Sus Servicios Ecosistémicos*. Bogota.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2002). Obtenido de Política Nacional para Humedales interiores de Colombia:
http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Politicasy/polit_nal_humedales_int_colombia.pdf
- Pino, A. (2000). Obtenido de LA FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE COMO PRINCIPAL AMENAZA A LA INTEGRIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DEL TERRITORIO:
http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/integra_territorial/integ2.pdf
- Pizarro, R. (2016). *Medición de la infiltración en el suelo mediante infiltrometros doble anillo*. Mexico: EIAS.
- RAMSAR . (2014). Obtenido de LA CONVENCIÓN DE RAMSAR Y SU MISIÓN:
<http://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-convencion-de-ramsar-y-su-mision>
- RAMSAR . (2015). *Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas: una recopilación de análisis recientes* . Secretaria de la convención RAMSAR .
- Rengif, L. (1992). *Los Humedales de la Sabana de Bogotá* . Bogotá.
- Samaniego, j. (2017). *Mercado de carbono en Colombia* . Bogotá.
- Sanjurjo. (2001). *INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA*. Obtenido de Valoración Económica de Servicios Ambientales Prestados por Ecosistemas: Humedales en México:
http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/val_eco_hume.pdf
- Santos, T., & Telleira, J. (2006). *Perdida y fragmentación del hábitat. efecto sobre la conservación de las especies*. Universidad Complutense.
- Scott, F., & Carbonell. (1986). *El portal del medio ambiente* .
- Secretaria de planeación de Facatativá. (2015). *Estadísticas básicas municipales*. Facatativá.

Tamayo, E. (2014). Importancia de la valoración de servicios ecosistémicos y biodiversidad para la toma de decisiones.

Valverde, J. C. (2007). *Riego y drenaje*. San José: EUNED.

Velez, M., & Velez, J. (2014). *Modulo 3. Curvas de infiltración*. Colombia: UNAL.

Walker, B., & Salt., D. (2012). *Resilience Practice: Building*.

WORD RESOURCES INSTITUTE. (2002). 30,33,40,49.

World Resources Institute. (2005). *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio*. Washington, DC.

ANEXOS

Anexo A. Matriz para la selección de los puntos de muestreo de calidad físico-química

		Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4		
	Accesibilidad	el área objeto de muestreo está en un lugar fácilmente accesible	Se cuenta con acceso peatonal	Se cuenta con equipos y materiales de muestreo portátiles	Toma de muestra in situ	Total	Calificación opción
Opción 1	el área objeto de muestreo está en un lugar fácilmente accesible		1	1	0	2	1
Opción 2	Se cuenta con acceso peatonal	0		1	1	2	2
Opción 3	Se cuenta con equipos y materiales de muestreo portátiles	0	0		1	1	3
Opción 4	Toma de muestra in situ	1	0	0		1	4

		Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4		
	Representatividad	Se cuenta con Flujo de agua	El cuerpo de agua esta mezclado totalmente	La muestra es homogénea	Caudal constante	Total	Calificación opción
Opción 1	Se cuenta con Flujo de agua		1	1	0	2	2
Opción 2	El cuerpo de agua está mezclado totalmente	0		1	0	1	3
Opción 3	La muestra es homogénea	0	1		0	1	4
Opción 4	Caudal constante	1	1	1		3	1

		Opción 1	Opción 2	Opción 3		
	Seguridad	Las Condiciones meteorológicas permiten la toma de la muestra	Deslizamientos o arrastre de objetos sólidos grandes hacia la corriente.	Equipos de seguridad y de protección personal	Total	Calificación opción
Opción 1	Las Condiciones meteorológicas permiten la toma de la muestra		0	0	0	3
Opción 2	Deslizamientos o arrastre de objetos sólidos grandes hacia la corriente.	1		1	2	1
Opción 3	Equipos de seguridad y de protección personal	1	0		1	2

Anexo B. Formulario de encuesta

 UDEC	Universidad de Cundinamarca Facultad de Ciencias Agropecuarias Programa de Ingeniería Ambiental Trabajo de grado
No. ____	A. DATOS GENERALES
Propietario de vivienda: SI __ No __	Número de personas que habitan en la vivienda: _____
¿Con qué servicios públicos cuenta en su vivienda? Energía __ Acueducto __ Alcantarillado __ Gas Natural __ Aseo __ Todos __	
A. SISTEMA HÍDRICO	
1. ¿Cuánto es su consumo de agua en m ³ al mes? 0-13 m ³ ____ 16-26 m ³ ____ >26 m ³ ____ Otro ____	
2. ¿Qué fuente de abastecimiento de agua utiliza en su vivienda? Acueducto __ Captación de río y/o quebrada __ Captación de pozos __ Lluvia __ Otro __	
3. ¿Qué usos le da al agua que llega a su vivienda? Consumo __ Aseo __ Jardinería __ Otro __ Todos ____	
4. ¿Reutiliza el agua en su vivienda?	
B. VALORACIÓN DE SERVICIO DE RECARGA DE ACUIFEROS	
7. Para las siguientes afirmaciones responda un valor de 1 a 5 siendo: 1 Muy en desacuerdo, 2 Desacuerdo, 3 Indiferente, 4 De acuerdo, 5 Muy de acuerdo.	
<ul style="list-style-type: none"> - <input type="checkbox"/> El agua que obtiene para su vivienda es de buena calidad. - <input type="checkbox"/> La cantidad de agua que obtiene es la suficiente para sus actividades diarias. - <input type="checkbox"/> Durante todo el año su vivienda cuenta con agua. - <input type="checkbox"/> Las fuentes de agua que utiliza son de fácil acceso. - <input type="checkbox"/> Los humedales son de gran importancia en el suministro de agua. - <input type="checkbox"/> Es importante la participación en actividades de conservación de los humedales. - <input type="checkbox"/> Si hay un problema en su barrio en relación al agua, la comunidad trabaja unida para resolverlo. 	

8. De los siguientes servicios hidrológicos proporcionados por los humedales ¿Cuáles considera que son los más importantes? Responda un valor de 1 a 4 siendo: 1 Poco importante, 2 Indiferente, 3 Importante, 4 Muy importante.

- Recarga de acuíferos
- Rendimiento y abastecimiento de agua para la vivienda
- Mantenimiento de la calidad del agua
- Regulación del ciclo hidrológico
- Abastecimiento para riego y limpieza

9. ¿Cuáles son los principales factores que pueden afectar los servicios hidrológicos en un humedal?

Contaminación ____ Cambio climático ____ Fragmentación ____ Deforestación ____ Todos ____

Teniendo en cuenta que los humedales contribuyen en la oferta de recursos hídricos, se llevará a cabo un proyecto de recuperación de la ronda hídrica, con el fin de mejorar la calidad y el abastecimiento de agua en la zona.

12. ¿Qué entidad o persona considera usted que es la responsable de velar por el humedal del municipio?

Comunidad ____ CAR ____ Alcaldía ____ Entidad gubernamental ____ Otro ____

C. VALORACIÓN DE SERVICIO DE RETENCIÓN DE NUTRIENTE

13. Para las siguientes afirmaciones responda un valor de 1 a 5 siendo: 1 Muy en desacuerdo, 2 Desacuerdo, 3 Indiferente, 4 De acuerdo, 5 Muy de acuerdo.

- El agua que obtiene para su vivienda es de buena calidad.
- El agua que usted desecha producto de sus labores diarias va directamente a algún cuerpo de agua.
- El agua proveniente de sus labores contiene gran cantidad de jabones y/o grasas.
- El agua de su lavadora es vertida directamente al sistema de alcantarillado o pozos sépticos.
- El humedal de su comunidad presenta grandes cantidades de plantas acuáticas (buchón).
- Se presentan vertimientos puntuales a lo largo de la ronda del humedal.

14. De los siguientes servicios hidrológicos proporcionados por los humedales ¿Cuáles considera que son los más importantes? Responda un valor de 1 a 4 siendo: 1 Poco importante, 2 Indiferente, 3 Importante, 4 Muy importante.

- Remoción de excesiva cantidad de nutrientes del agua
- Aporte de nutrientes a la vegetación presente en el humedal y alrededores
- Aporte de nutrientes a la fauna presente en el humedal y alrededores
- La retención de nutrientes en los humedales hace que sean uno de los ecosistemas más productivos

15. ¿Cuáles son los principales factores que pueden afectar los servicios de recirculación de nutrientes?

Vertimientos ____ Eutrofización ____ Fragmentación ____ Deforestación ____ Todos ____

Teniendo en cuenta que los humedales contribuyen en la calidad del recurso hídrico, se llevará a cabo un proyecto de identificación de vertimientos puntuales, jornada de recolección de residuos sólidos y limpieza del espejo de agua, con el fin de mejorar la calidad y el abastecimiento de agua en la zona.

16. Cuánto estaría dispuesto a contribuir mensualmente por el mantenimiento y conservación del humedal, de tal manera que se asegure la calidad del agua suministrada

\$5.000 – \$20.000 ____ \$21.000 – \$60.000 ____ \$61.000 – \$100.000 ____ > \$100.000 ____

17. ¿Qué entidad o persona considera que es el más apropiado para recibir el pago?

Líder comunitario ____ CAR ____ Entidad gubernamental ____ Otro ____

18. ¿Qué entidad o persona considera usted que es la responsable de velar por el humedal del municipio?

Comunidad ____ CAR ____ Alcaldía ____ Entidad gubernamental ____ Otro ____

D. VALORACIÓN DE SERVICIO DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS
<p>19. Para las siguientes afirmaciones responda un valor de 1 a 5 siendo: 1 Muy en desacuerdo, 2 Desacuerdo, 3 Indiferente, 4 De acuerdo, 5 Muy de acuerdo.</p> <ul style="list-style-type: none"> - <input type="checkbox"/> El agua que obtiene para su vivienda es de buena calidad (color, olor y sabor). - <input type="checkbox"/> la limpieza de la red de alcantarillado es frecuente y oportuna. - <input type="checkbox"/> Se realiza remoción de sedimentos presentes en la ronda hídrica del humedal. - <input type="checkbox"/> Un humedal cumple la función de purificador de sedimentos. - <input type="checkbox"/> La capacidad de los humedales para trata sedimentos es limitada.
<p>20. De los siguientes servicios de retención de sedimentos proporcionados por los humedales ¿Cuáles considera que son los más importantes? Responda un valor de 1 a 4 siendo: 1 Poco importante, 2 Indiferente, 3 Importante, 4 Muy importante.</p> <ul style="list-style-type: none"> - <input type="checkbox"/> Remoción de excesiva cantidad de sedimentos del agua - <input type="checkbox"/> Evita la saturación del ecosistema
<p>21. ¿Cuáles son los principales factores que pueden afectar los servicios de retención de sedimentos? Vertimientos ____ Erosión ____ Fragmentación ____ Deforestación ____ Todos ____</p>
<p>Teniendo en cuenta que los humedales contribuyen en la calidad del recurso hídrico, se llevará a cabo un proyecto de manejo y aprovechamiento de sedimentos, con el fin de mejorar la calidad y el abastecimiento de agua en la zona.</p>
<p>22. ¿Cuanto estaría dispuesto a contribuir mensualmente para la extracción de sedimentos del humedal, de tal manera que se asegure la calidad del agua suministrada? \$5.000 – \$20.000 ____ \$21.000 – \$60.000 ____ \$61.000 – \$100.000 ____ > \$100.000 ____</p>
<p>23. ¿Qué entidad o persona considera que es el más apropiado para recibir el pago? Líder comunitario ____ CAR ____ Entidad gubernamental ____ Otro ____</p>
<p>24. ¿Qué entidad o persona considera usted que es la responsable de velar por el humedal del municipio? Comunidad ____ CAR ____ Alcaldía ____ Entidad gubernamental ____ Otro ____</p>
E. SERVICIO DE CAPTURA DE CARBONO
<p>25. ¿Qué fuentes contaminan el aire en su municipio? Industrias ____ Tráfico vehicular ____ Quemadas a cielo abierto ____ Incendios ____ Otro ____</p>
<p>26. ¿Puede indicar una aproximación de gastos económicos que le haya generado una enfermedad respiratoria? \$10.000 – \$50.000 ____ \$60.000 – \$100.000 ____ > \$100.000 ____ Otro ____</p>
F. VALORACIÓN DE SERVICIO DE CAPTURA DE CARBONO
<p>27. Para las siguientes afirmaciones responda un valor de 1 a 5 siendo: 1 Muy en desacuerdo, 2 Desacuerdo, 3 Indiferente, 4 De acuerdo, 5 Muy de acuerdo.</p> <ul style="list-style-type: none"> - <input type="checkbox"/> El aire que usted respira es de buena calidad. - <input type="checkbox"/> La cantidad de carbono que se captura en los humedales, es suficiente para obtener un aire de buena calidad. - <input type="checkbox"/> Durante alguna época del año la calidad del aire se ve más afectada. - <input type="checkbox"/> Es necesario que en Facatativá se implemente un mecanismo de purificación del aire. - <input type="checkbox"/> Los humedales son de gran importancia en la captura de carbono proveniente de la contaminación. - <input type="checkbox"/> Es importante la participación de la comunidad en actividades de conservación de humedales. - <input type="checkbox"/> Si hay un problema en su barrio en cuanto a contaminación del aire, la comunidad trabaja unida para resolverlo.

<p>28. De los siguientes servicios de retención de sedimentos proporcionados por los humedales ¿Cuáles considera que son los más importantes? Responda un valor de 1 a 4 siendo: 1 Poco importante, 2 Indiferente, 3 Importante, 4 Muy importante.</p> <ul style="list-style-type: none"> - <input type="checkbox"/> Reducción de la huella de carbono. - <input type="checkbox"/> Purificación de la calidad del aire. - <input type="checkbox"/> Almacenamiento de CO2. - <input type="checkbox"/> Reducción de los costos totales de la contención de las emisiones de gases de efecto invernadero. - <input type="checkbox"/> Adaptación y mitigación al cambio climático.
<p>29. ¿Cuáles son los principales factores que pueden afectar el servicio de captura de carbono en un humedal?</p> <p>Erosión ____ Fragmentación ____ Deforestación ____ Otros ____ Todos ____</p>
<p>Teniendo en cuenta que los humedales contribuyen en la captura de carbono, se llevará a cabo un proyecto de identificación y protección de especies vegetales captadoras de carbono, con el fin de mejorar la calidad del aire en la zona.</p>
<p>30. Cuánto estaría dispuesto a contribuir mensualmente con el fin de conservar y proteger el humedal, de tal manera que se asegure la calidad del aire</p> <p>\$5.000 – \$20.000 ____ \$21.000 – \$60.000 ____ \$61.000 – \$100.000 ____ > \$100.000 ____</p>
<p>31. ¿Qué entidad o persona considera que es el más apropiado para recibir el pago?</p> <p>Líder comunitario ____ CAR ____ Entidad gubernamental ____ Otro ____</p>
<p>32. ¿Qué entidad o persona considera usted que es la responsable de velar por el humedal del municipio?</p> <p>Comunidad ____ CAR ____ Alcaldía ____ Entidad gubernamental ____ Otro ____</p>
<p>G. DATOS GENERALES</p>
<p>33. ¿Cuál es su ocupación?</p> <p>Empleado ____ Trabajador independiente ____ Ama de casa ____ Desempleado ____ Otro ____</p>
<p>34. ¿Diría que el promedio de sus ingresos personales netos al mes está en alguna de las siguientes categorías?</p> <p>Menos de un SMLV ____ Entre 1 y 2 SMLV ____ 3 o más SMLV ____ Otro ____</p>
<p>¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN!</p>

Anexo C. Resultados pruebas fisicoquímicas

Tabla 1 Resultados pruebas fisicoquímicas humedal El Manantial (temporada de lluvias)

	Punto de muestreo 1			Punto de muestreo 2			Punto de muestreo 3			Punto de muestreo 4		
Coordenadas	N 970814.583 W 1031846.106			N 970990.002 W 1031826.262			N 971172.565 W 1031850.075			N 971397.991 W 1031836.581		
Prueba	Toma 1	Toma 2	prom									
pH	6.93	6.9	6.92	7.21	7.23	7.22	7.42	7.42	7.42	7.50	7.59	7.59
Turbidez	4.53	4.6	4.55	3.49	3.56	3.52	4.76	4.75	4.75	3.69	3.73	3.71
Conductividad	15.25	15.24	15.24	15.37	15.35	15.36	16.25	16.27	16.26	17.51	17.52	17.51
Temperatura °C	11.02	11.03	11.02	11.05	11.03	11.04	11.02	10.99	11.00	10.93	11.01	10.97
DBO ₅ mg O ₂ /L	0.79	0.81	0.80	2.04	2.06	2.05	2.17	2.19	2.18	2.23	2.25	2.24
DQO mg O ₂ /L	2.55	2.57	2.56	2.28	2.26	2.27	3.10	3.13	3.12	3.54	3.56	35.5
Fosforo Mg/L PO ₄	0.11	0.13	0.12	0.13	0.14	0.13	0.15	0.17	0.16	0.19	0.17	0.18
Nitratos mg/L NO ₃	1.54	1.49	1.51	1.62	1.59	1.61	2.02	1.99	2.0	1.95	2.0	1.98
Sólidos totales mg/L	97	95	96	98	97	98	95	96	96	98	96	97
Sólidos sedimentables ml/L	0.1	0.1	0.1	0.5	0.4	0.5	0.9	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9

Tabla 2 Resultados pruebas fisicoquímicas humedal El Manantial (temporada seca)

	Punto de muestreo 1			Punto de muestreo 2			Punto de muestreo 3			Punto de muestreo 4		
Coordenadas	N 970814.583 W 1031846.106			N 970990.002 W 1031826.262			N 971172.565 W 1031850.075			N 971397.991 W 1031836.581		
Prueba	Toma 1	Toma 2	prom									
pH	6.73	6.75	6.74	7.44	7.42	7.43	7.58	7.56	7.57	7.70	7.75	7.73
Turbidez	1.25	1.31	1.28	0.16	0.33	0.24	1.43	1.42	1.42	1.42	1.44	1.43
Conductividad	15.02	15.07	15.04	15.08	15.09	15.08	16.05	16.07	16.06	17.01	17.02	17.01
Temperatura °C	10.02	10.06	10.04	10.25	10.03	10.14	9.02	9.51	9.56	10.13	10.01	10.07
DBO ₅ mg O ₂ /L	0.59	0.60	0.59	1.01	0.98	0.99	1.42	1.45	1.43	1.11	1.14	1.12
DQO mg O ₂ /L	1.06	1.04	1.05	1.52	1.55	1.53	2.24	2.27	2.25	2.68	2.70	2.69
Fosforo Mg/L PO ₄	0.9	0.5	0.7	0.10	0.13	0.12	0.12	0.09	0.11	0.15	0.13	0.14
Nitratos mg/L NO ₃	0.43	0.46	0.45	0.73	0.75	0.74	1.14	1.18	1.16	1.57	1.53	1.55
Solidos totales mg/L	94	92	93	93	95	94	95	94	95	96	97	97
Solidos sedimentables ml/L	0.07	0.06	0.07	0.1	0.2	0.2	0.4	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5

Tabla 3 Resultados pruebas fisicoquímicas humedal Las Piedras del Tunjo (temporada de lluvias)

	Punto de muestreo 1			Punto de muestreo 2			Punto de muestreo 3			Punto de muestreo 4		
Coordenadas	N 969953.778 W 1024381.743			N 969940.565 W 1024343.742			N 969926.351 W 1024265.739			N 969898.562 W 1024170.159		
Prueba	Toma 1	Toma 2	prom	Toma 1	Toma 2	prom	Toma 1	Toma 2	prom	Toma 1	Toma 2	prom
pH	7.81	7.84	7.82	8.02	7.59	7.80	7.86	8.00	7.93	8.12	8.17	8.17
Turbidez	5.84	5.79	5.81	49.53	49.56	49.54	34.40	34.42	34.41	142.52	146.18	144.35
Conductividad	198	197	198	352	357	355	297	297	297	520	521	521
Temperatura °C	11.1	11.3	11.2	12.5	12.1	12.3	12.9	13.1	13.0	14.28	14.25	14.27
DBO ₅ mg O ₂ /L	125	127	126	204	199	202	106	109	108	251	254	252.5
DQO mg O ₂ /L	295	297	296	454	457	456	325	329	327	600	595	598
Fosforo Mg/L PO ₄	5.41	5.39	5.4	30.45	30.49	30.47	26.85	26.89	26.87	32.56	31.59	31.58
Nitratos mg/L NO ₃	2.29	2.25	2.27	14.22	14.24	14.23	25.32	25.34	25.33	37.15	37.19	37.17
Solidos totales mg/L	105	109	107	458	457	458	398	399	399	489	490	490
Solidos sedimentables ml/L	3.9	4.1	4.0	20.9	20.5	20.7	19.8	19.6	19.7	38.1	38.4	38.3

Tabla 4. Resultados pruebas fisicoquímicas humedal Las Piedras del Tunjo (temporada seca)

Coordenadas	Punto de muestreo 1 N 969953.778 W 1024381.743			Punto de muestreo 2 N 969940.565 W 1024343.742			Punto de muestreo 3 N 969926.351 W 1024265.739			Punto de muestreo 4 N 969898.562 W 1024170.159		
	Toma 1	Toma 2	prom	Toma 1	Toma 2	prom	Toma 1	Toma 2	prom	Toma 1	Toma 2	prom
pH	6.54	6.51	6.52	6.28	6.25	6.26	6.89	6.84	6.87	5.98	5.96	5.97
Turbidez	4.54	4.57	4.56	35.35	35.40	35.38	32.58	32.60	32.59	125.24	125.28	125.26
Conductividad	186	184	185	334	337	336	251	253	252	457	459	458
Temperatura °C	11.5	11.3	11.4	14.7	14.6	14.7	13.5	13.4	13.5	15.02	14.99	15.00
DBO ₅ mg O ₂ /L	118	114	116	200	204	202	97	98	98	245	243	244
DQO mg O ₂ /L	259	256	258	305	310	308	168	171	170	504	508	506
Fosforo Mg/L PO ₄	4.81	4.79	4.8	29.85	29.80	29.83	26.25	26.20	26.22	31.05	31.0	31.02
Nitratos mg/L NO ₃	2.01	1.99	2.0	13.13	13.11	13.12	24.23	24.26	24.24	36.46	36.42	36.44
Solidos totales mg/L	98	94	96	451	446	449	391	387	392	482	477	478
Solidos sedimentables ml/L	2.6	2.8	2.6	14.9	15.3	15.1	15.8	16.3	16.1	34.5	34.8	35.1

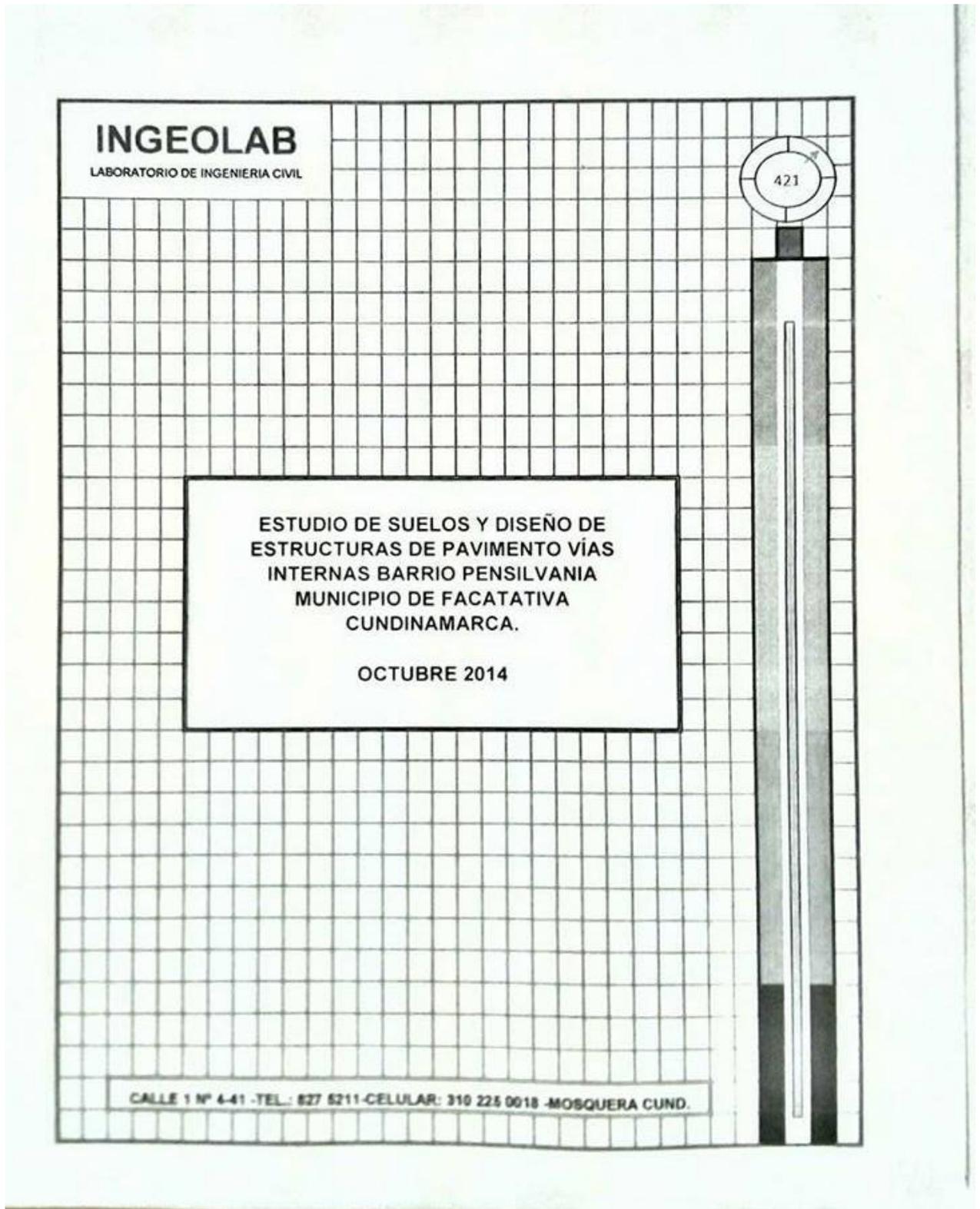
Tabla 5. Resultados pruebas fisicoquímicas humedal Las Tinguas (temporada de lluvias)

Coordenadas	Punto de muestreo 1			Punto de muestreo 2			Punto de muestreo 3		
	N 969110.471 W 1025038.676			N 969024.471 W 1024781.765			N 968976.856 W 1024675.006		
Prueba	Toma 1	Toma 2	prom	Toma 1	Toma 2	prom	Toma 1	Toma 2	prom
pH	7.10	7.14	7.12	7.78	7.82	7.80	8.41	8.43	8.42
Turbidez	87.24	87.23	87.24	79.7	79.8	79.8	122	124	123
Conductividad	192	187	190	345	341	343	289	285	287
Temperatura _{oc}	11.8	11.9	11.9	13.8	13.4	13.6	13.6	13.9	13.8
DBO ₅ mg O ₂ /L	136	138	137	275	278	278	290	294	292
DQO mg O ₂ /L	275	279	277	420	424	422	480	485	483
Fosforo Mg/L PO ₄	3.40	3.46	3.43	22.68	22.37	22.52	26.65	26.69	26.67
Nitratos mg/L NO ₃	2.24	2.29	2.27	24.65	24.61	24.63	36.55	36.52	36.54
Solidos totales mg/L	101	105	103	247	249	248	395	397	396
Solidos sedimentables ml/L	7.5	7.8	7.7	19.6	19.4	19.5	21.0	20.9	21.0

Tabla 6. Resultados pruebas fisicoquímicas humedal Las Tinguas (temporada seca)

Coordenadas	Punto de muestreo 1			Punto de muestreo 2			Punto de muestreo 3		
	N 969110.471 W 1025038.676			N 969024.471 W 1024781.765			N 968976.856 W 1024675.006		
Prueba	Toma 1	Toma 2	prom	Toma 1	Toma 2	prom	Toma 1	Toma 2	prom
pH	6.22	6.25	6.24	6.99	6.97	6.98	8.21	8.23	8.22
Turbidez	76.95	76.92	76.94	56.2	56.5	56.35	98.6	98.9	98.8
Conductividad	184	187	186	321	318	320	275	278	277
Temperatura °C	11.9	12.1	12.0	13.9	14.3	14.1	13.8	14.1	14.0
DBO ₅ mg O ₂ /L	128	126	127	269	267	268	276	272	274
DQO mg O ₂ /L	268	267	268	418	414	416	475	478	477
Fosforo Mg/L PO ₄	2.80	2.86	2.83	21.18	21.14	21.16	25.98	25.97	25.98
Nitratos mg/L NO ₃	1.94	1.95	1.95	23.15	23.11	23.13	34.15	34.12	34.13
Solidos totales mg/L	94	93	94	236	234	235	367	369	368
Solidos sedimentables ml/L	7.1	7.3	7.2	18.9	18.7	18.8	20.6	20.8	20.7

Anexo D. Perfil de suelos



EXPLORACION EN EL TERRENO

PROYECTO: Pavimentación barrio Pensilvania	MUNICIPIO: Facatativa Cund.
SONDEO No. 1 (uno)	INGENIERO: José María Mican
NIVEL FREATICO: A 1.95 metros	LABORATORISTA: Julio Cárdenas
LOCALIZACION: Barrio pensilvania	PROFUNDIDAD: 3.24 metros

PERFIL ESTRATIGRAFICO

PROFUNDIDAD	NF	USC PERFIL	DESCRIPCIÓN	%Wn
0.00				
0.00			Placa en concreto y relleno	
0.25				
0.25		MH	Limo arcilloso orgánico color negro de alta compresibilidad. Mezclado con rellenos y escombros	16.1
0.60				
0.60		MH	Limo arcilloso orgánico color café de alta compresibilidad	20.1
1.30				
1.30				
	N.F. →	CH	Arcilla color habano grisáceo con vetas amarillas de oxidación de humedad y plasticidad media alta. Consistencia media a firme	43.8
3.24				
			Fin del sondeo	

NOTA: Sin Escala

EXPLORACION EN EL TERRENO

PROYECTO: Pavimentación barrio Pensilvania	MUNICIPIO: Facatativa Cund.
SONDEO No. 3 (tres)	INGENIERO: José María Mican
NIVEL FREATICO: A 2.00 metros	LABORATORISTA: Julio Cárdenas
LOCALIZACION: Barrio pensilvania	PROFUNDIDAD: 3.60 metros

PERFIL ESTRATIGRAFICO

PROFUNDIDAD	NF	USC PERFIL	DESCRIPCIÓN	%Wn
0.00				
0.00			Placa en concreto y relleno	
0.20				
0.20		MH	Limo arcilloso orgánico color negro de alta compresibilidad. Mezclado con rellenos y escombros	14.2
0.30				
0.30		MH	Limo arcilloso orgánico color café de alta compresibilidad	24.2
1.40				
1.40				
	N.F. →			
		CH	Arcilla color habano grisáceo con vetas amarillas de oxidación de humedad y plasticidad media alta. Consistencia media a firme	42.4
3.60				
			Fin del sondeo	

NOTA: Sin Escala

EXPLORACION EN EL TERRENO

PROYECTO: Pavimentación barrio Pensilvania	MUNICIPIO: Facatativa Cund.
SONDEO No. 4 (cuatro)	INGENIERO: José María Mican
NIVEL FREATICO: A 1.90 metros	LABORATORISTA: Julio Cárdenas
LOCALIZACION: Barrio pensilvania	PROFUNDIDAD: 3.50 metros

PERFIL ESTRATIGRAFICO

PROFUNDIDAD	NF	USC PERFIL	DESCRIPCIÓN	%Wn
0.00				
0.10			Placa en concreto y relleno	
0.10		MH	Limo arcilloso orgánico color negro de alta compresibilidad. Mezclado con rellenos y escombros	13.8
0.40		MH	Limo arcilloso orgánico color café de alta compresibilidad	22.4
1.30				
1.30		CH	Arcilla color habano grisáceo con vetas amarillas de oxidación de humedad y plasticidad media alta. Consistencia media a firme	40.1
3.50			Fin del sondeo	

NOTA: Sin Escala

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE OBRAS VIALES.

Proyecto:

"Estudio mecánica de suelos para vías en el barrio las piedras municipio de Facatativá Cundinamarca mayo 10 de 2012"

Ubicación:

Dirección:	Calle 5 entre carreras 13 y 12
Coordenadas:	4.816550 N, -74.349566 O
Barrio:	Las Piedras
Municipio:	Facatativá
Departamento:	Cundinamarca

Responsables del estudio:

Mendez Moreno Andres Felipe
Pardo Ortega Julian David

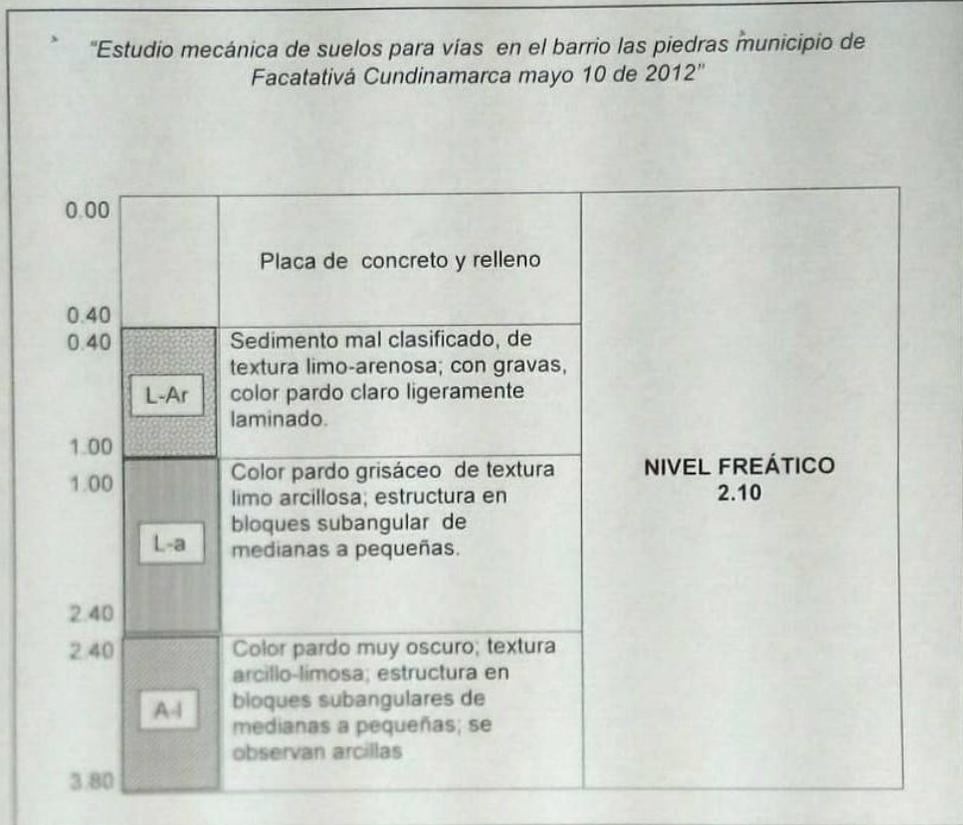
Escuela profesional:

Ingeniería civil

Asesor:

MARTINEZ SANTOS, Jorge Luis; Ingeniero Civil, registro. CIP N° 37768

PERFIL ESTRATIGRÁFICO.



INGEOLAB

LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL

538

ESTUDIO DE SUELOS FINCA EL MANANTIAL
VEREDA MANCILLA
MUNICIPIO DE FACATATIVA
CUNDINAMARCA.

JUNIO DE 2016

CALLE 1 N° 4-41 -TEL.: 827 8211-CELULAR: 310 228 0018 -MOSQUERA CUND.

INGEOLAB

LABORATORIO DE INGENIERIA CIVIL

EXPLORACION EN EL TERRENO

PROYECTO: Concesión de aguas superficiales	MUNICIPIO: Facatativa Cund.
SONDEO No. 1 (uno)	INGENIERO: José María Mican
NIVEL FREÁTICO: 1.79	LABORATORISTA: Alejandro Prieto
LOCALIZACIÓN: vereda mancilla	PROFUNDIDAD : 4.12 metros

PROFUNDIDAD	NF	USC PERFIL	DESCRIPCIÓN	% WN
0.00				
0.00			Capa vegetal, pasto y raíces	
0.35			Franco limoso color ámbar, buena capacidad de retención hídrica; fertilidad natural media; medianamente ácidos a neutros. Limitaciones ligadas mayormente a inundaciones eventuales	10.3%
0.35				
0.70			Franco arenoso color siena marrón buena cohesión Textura suelta, retención de humedad media.	18.4%
0.70				
1.70			Arcillo arenoso color ocre con buen drenaje plasticidad baja, consistencia baja.	28.9%
1.70	NF →			
4.12			Fin del sondeo	

CALLE 1 No 4-41 CELULAR 3102250018 MOSQUERA CUNDINAMARCA.

EXPLORACION EN EL TERRENO

PROYECTO: Concesión de aguas superficiales	MUNICIPIO: Facatativa Cund.
SONDEO No. 2 (dos)	INGENIERO: José María Mican
NIVEL FREÁTICO: 1.79	LABORATORISTA: Alejandro Prieto
LOCALIZACIÓN: vereda mancilla	PROFUNDIDAD : 4.12 metros

PROFUNDIDAD	NF	USC PERFIL	DESCRIPCIÓN	% WN
0.00				
0.00			Capa vegetal, pasto y raíces	
0.35				
0.35			Franco limoso color ámbar, buena capacidad de retención hídrica; fertilidad natural media; medianamente ácidos a neutros. Limitaciones ligadas mayormente a inundaciones eventuales	9.4%
0.70				
0.70			Franco arenoso color siena marrón buena cohesión Textura suelta, retención de humedad media	20.1%
1.70				
1.70	NF →			
			Arcillo arenoso color ocre con buen drenaje plasticidad baja. Consistencia baja	23.7%
4.12			Fin del sondeo	

EXPLORACION EN EL TERRENO

PROYECTO: Concesión de aguas superficiales	MUNICIPIO: Facatativa Cund.
SONDEO No. 3 (tres)	INGENIERO: José María Mican
NIVEL FREÁTICO: 1.79	LABORATORISTA: Alejandro Prieto
LOCALIZACIÓN: vereda mancilla	PROFUNDIDAD : 4.12 metros

PROFUNDIDAD	NF	USC PERFIL	DESCRIPCIÓN	% WN
0.00				
0.00			Capa vegetal, pasto y raíces	
0.35				
0.35			Franco limoso color ámbar, buena capacidad de retención hídrica; fertilidad natural media; medianamente ácidos a neutros. Limitaciones ligadas mayormente a inundaciones eventuales	9.9%
0.70				
0.70			Franco arenoso color siena marrón buena cohesión Textura suelta, retención de humedad media	21.4%
1.70				
1.70	NF →			
			Arcillo arenoso color ocre con buen drenaje plasticidad baja. Consistencia baja	25.9%
4.12			Fin del sondeo	

CALLE 1 No 4-41 CELULAR 3102250918 MOSQUERA CUNDINAMARCA.