



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO

**EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES A PARTIR DEL ANÁLISIS SATELITAL
DE COBERTURAS PRESENTES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS 28
MICROCUENCAS PRIORIZADAS POR LA CDMB.**

Modalidad de prácticas

AUTOR

MARLY CAROLINA CÁRDENAS CAMACHO 1098763844

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS
INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
27-08-2018**



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO

**EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES A PARTIR DEL ANÁLISIS SATELITAL
DE COBERTURAS PRESENTES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS 28
MICROCUENCAS PRIORIZADAS POR LA CDMB.**

Modalidad de prácticas

AUTOR

MARLY CAROLINA CÁRDENAS CAMACHO 1098763844

**Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERA AMBIENTAL**

DIRECTOR

CESAR AUGUSTO FLÓREZ RODRÍGUEZ

GRUPO DE INVESTIGACIÓN – GRIMAT

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS
INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
27-08-2018**

Nota de Aceptación

Firma del jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIA

Dedico mi esfuerzo y empeño primeramente a DIOS, por permitirme avanzar en mis proyectos y metas de su mano, guiándome y direccionándome, estando siempre presente en mi vida, dándome sabiduría para tomar las decisiones correctas;

A mis padres, quienes con su esfuerzo y amor me han apoyado y acompañado en este proceso y me han dado el valor para no rendirme y avanzar en lo que me proponga.

A mis hermanas quienes siempre han estado ahí para apoyarme de una u otra manera y a las personas que me han ayudado y motivado por conseguir este logro con cada lección aprendida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la sabiduría, inteligencia y dedicación para lograr culminar esta etapa con humildad y agrado, gracias por brindarme un hogar cristiano y una familia unida.

Gracias a mi Director de proyecto, el profesor César Augusto Flórez Rodríguez docente de las unidades tecnológicas de Santander por apoyarme, estar pendiente del avance de mi proyecto de prácticas, brindarme de sus conocimientos y confiar en mis capacidades.

Así mismo, agradezco al profesor Jhon Jairo Acevedo, docente de las unidades tecnológicas de Santander y sus colaboradores, particulares y estudiantes de la institución por el asesoramiento y refuerzo de mis conocimientos durante el desarrollo de este proyecto, permitiendo capacitarme más en temas específicos.

A todos aquellos que conocí en el camino de este proceso que en mayor o menor proporción aportaron sus conocimientos para que mi desempeño fuera óptimo.

Por último, a mis familiares y amigos, quienes me brindaron su apoyo incondicional.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	12
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	14
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES	15
2. MARCOS REFERENCIALES	17
2.1. MARCO TEORICO	17
2.1.1. MEDIO UTIL PARA IDENTIFICAR COBERTURAS DE TIERRA DEMOSTRANDO CAMBIOS EN EL FUNCIONAMIENTO DE MICROCUENCAS.....	17
2.1.2. ESTADO DE FRAGMENTACIÓN DEL BOSQUE NATURAL EN UN ÁREA DE INFLUENCIA	21
2.1.3. METODOLOGÍA PARA LA INTERPRETACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EN UN ANÁLISIS DE COBERTURAS Y LA EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS.....	28
2.2. MARCO LEGAL.....	33
2.3. MARCO CONCEPTUAL	34
2.3.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA SIG.....	34
2.3.2. METODOLOGÍA CORINE LANDCOVER, 2010 ADAPTADO PARA COLOMBIA.....	35
2.3.3. TELEDETECCION.....	35
2.3.4. COBERTURA Y USO DE LA TIERRA.....	36
2.3.5. RONDA HIDRICA E INTERVENCION ANTROPICA	36
2.3.6. FRAGMENTACION DE BOSQUES	37
2.3.7. OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL.....	38
2.3.8. SANEAMIENTO BASICO	38
2.4. MARCO AMBIENTAL.....	39
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	41
3.1. ANALISIS DE COBERTURAS.....	41
3.1.1. CAPACITACIÓN.....	41
3.1.2. AREA DE ESTUDIO	41
3.1.3. OBTENCIÓN DE IMAGEN SATELITAL	43
3.1.4. PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN.....	43
3.1.5. IDENTIFICACIÓN DE COBERTURAS.....	44
3.1.6. CALCULO DE AREAS EN LA ZONA DE ESTUDIO	47

3.1.7.	IDENTIFICACIÓN FUENTES HÍDRICAS.....	48
3.1.8.	AREA DE INFLUENCIA DE MICROCUENCAS.....	48
3.2.	ESTADO DE FRAGMENTACIÓN	50
3.3.	CALCULOS BASADOS EN AREA	50
3.3.1.	ÍNDICE DE DIVERSIDAD DE FORMA DE PATTON (D.I.)	50
3.3.2.	ÍNDICE DE COMPACTACIÓN.....	50
3.4.	CALCULOS BASADOS EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA (SIG). 52	
3.4.1.	CONTINUIDAD ESPACIAL.....	52
3.4.2.	DISTANCIA MEDIA AL FRAGMENTO VECINO MÁS CERCANO (MNN).....	53
3.4.3.	GRADO DE FRAGMENTACIÓN.....	53
3.4.4.	DENSIDAD DE PARCHES.	53
3.5.	IMPACTOS AMBIENTALES.....	54
3.5.1.	OBTENCIÓN DE VALORES DE CALIDAD AMBIENTAL	55
3.5.2.	MATRIZ BATELLE COLUMBUS	55
3.5.3.	CALCULO UNIDADES DE IMPACTO	55
3.5.4.	CALCULO VARIANZA, COVARIANZA Y CORRELACIÓN.....	55
4.	<u>RESULTADOS</u>	<u>56</u>
4.1.	INTERPRETACIÓN DE COBERTURAS	56
4.1.1.	COBERTURA DE TIERRA.....	56
4.1.2.	COBERTURA VEGETAL	58
4.2.	INTERPRETACIÓN FRAGMENTACIÓN DE BOSQUES	59
4.2.1.	CALCULO INDICE DE FORMAS DE PATTON	59
4.2.2.	CALCULO INDICE DE COMPACTACIÓN	59
4.2.3.	CALCULO ÍNDICE DE CONTINUIDAD DE VOGELMANN.....	60
4.2.4.	CALCULO DE LA DISTANCIA MEDIA AL FRAGMENTO VECINO MÁS CERCANO (MNN)	61
4.2.5.	CALCULO DEL GRADO DE FRAGMENTACIÓN.....	62
4.2.6.	DENSIDAD DE PARCHE.....	62
4.3.	EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.....	63
4.3.1.	GRAFICAS Y VALORES DE TRANSFORMACIÓN-CALIDAD AMBIENTAL.	63
4.3.2.	ELABORACIÓN MATRIZ DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO	69
4.3.3.	CORRELACION DE LOS INDICES BASADOS EN AREAS	72
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>75</u>
6.	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>77</u>
7.	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>78</u>
8.	<u>ANEXOS.....</u>	<u>81</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fragmentación de bosques.....	22
Figura 2. Tendencia de variables en paisajes fragmentados.....	26
Figura 3. Cambio del paisaje hábitat original y fragmentado.....	27
Figura 4. Retención de especies en eventos de fragmentación.....	27
Figura 5. Metodología de evaluación de impactos ambientales.....	29
Figura 6. Ejemplos de grafica de índice de calidad (componente agua y aire).....	31
Figura 7. Poligono area de influencia.....	42
Figura 8. Clasificación supervisada.....	44
Figura 9. Cobertura de tierra.....	44
Figura 10. NDVI.....	46
Figura 11. Áreas de influencia Bucaramanga.....	49
Figura 12. Áreas de influencia Floridablanca y microcuenca rio hato (Piedecuesta).....	49
Figura 13. porcentaje representativo cobertura de la tierra.....	57
Figura 14. Análisis área total (ha) de vegetación.....	58
Figura 15. Gráfica, parámetro uso del suelo.....	63
Figura 16. Gráfica. Parámetro: perdidas en cuencas hidrográficas.....	64
Figura 17. Gráfica, parámetro diversidad de especies.....	65
Figura 18. Grafica, parámetro Erosión.....	66
Figura 19. Gráfica, parámetro vegetación natural.....	67
Figura 20. Gráfica, parámetro diversidad tipo de vegetación.....	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Distribución de bandas espectrales.....	19
Tabla 2. Forma de fragmentos según Patton	23
Tabla 3. Valores grado de fragmentación.	24
Tabla 4. Variables de cambio de paisaje.....	25
Tabla 5. Ejemplo de sistema de valoración ambiental Batelle-Columbus.....	32
Tabla 6. Marco legal.	33
Tabla 7. Microcuencas en estudio.....	41
Tabla 8. Cálculos de coberturas de tierra.....	47
Tabla 9. Cálculos cobertura vegetal (NDVI)	47
Tabla 10. Demostración procedimiento cálculos índice de área.....	51
Tabla 11. Resumen, datos de microcuencas de los municipios Bucaramanga, Floridablanca y microcuenca rio hato de Piedecuesta.....	52
Tabla 12. Datos para aplicar en cálculos de SIG	53
Tabla 13. Cálculos basados en SIG.....	54
Tabla 14. Porcentaje de cobertura vegetal.....	58
Tabla 15. Calculo porcentaje de formas de patton.	59
Tabla 16. Porcentaje índice de compactación.....	60
Tabla 17. Índice de continuidad de vogelmann	61
Tabla 18. Distancia entre fragmentos cercanos.	61
Tabla 19. Grado de fragmentación.....	62
Tabla 20. Densidad de parches	62
Tabla 21. Calidad Ambiental vs índice de continuidad	65
Tabla 22. Calidad Ambiental vs MNN	66
Tabla 23. Calidad Ambiental vs Grado de fragmentación	67
Tabla 24. Calidad Ambiental vs Densidad.....	68
Tabla 25. Matriz Batelle Columbus del proyecto	69
Tabla 26. Correlación índice de forma	73
Tabla 27. Correlación índice de compactación	73

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de prácticas se elaboró con la finalidad de realizar una evaluación de impactos ambientales a partir del análisis satelital de coberturas presentes en el área de influencia de las 28 microcuencas priorizadas por la CDMB, para la cual se desarrolló una metodología descriptiva dividida en 3 fases (análisis de coberturas, estado de fragmentación del bosque presente y evaluación de impactos ambientales).

Se contempló un análisis del estado actual de las microcuencas, permitiendo la identificación de los tipos de coberturas existentes, el grado de afectación de los fragmentos, evidenciando la vulnerabilidad de la zona ante los usos de la tierra y los impactos que representaron el cambio en la calidad ambiental y transformación del área de influencia de las microcuencas.

Como resultado se evidenciaron las condiciones ambientales en que se encuentran las microcuencas con respecto a los parámetros de vegetación natural, uso del suelo, diversidad de especies, diversidad de tipo de vegetación, erosión y pérdidas en cuencas o microcuencas hidrográficas, desarrollados gracias a los modelos o índices utilizados para evaluar los parámetros e identificar el nivel del impacto, teniendo presente que de las microcuencas estudiadas, la quebrada el macho indicó un nivel de vulnerabilidad más elevado en cada evaluación y que el parámetro más impactado es el de vegetación natural, permitiendo conocer el lugar y el recurso en donde se puede iniciar un plan de restauración.

Finalmente, como conclusión se demostró que mediante un análisis de impactos cuantitativo y cualitativo en conjunto con un estudio geodésico se pueden exponer afectaciones a los recursos naturales de un área en específico que permitan conocer las áreas más propensas a los cambios en el ecosistema, siendo herramientas tecnológicas que sirven de apoyo para las acciones inmediatas de prevención, restauración y conservación.

PALABRAS CLAVE. Análisis satelital, calidad ambiental, coberturas de tierra, fragmentación de bosques, impacto ambiental.

INTRODUCCIÓN

En Colombia se evidencia un aumento de actividades ejercidas por la comunidad que implican un cambio en el bosque natural debido a la adecuación que se les realiza permitiendo que estos se degraden hasta el punto de obtener pérdidas de coberturas de tierra; durante este proceso de transformación se observan que los bosques dejan de ser densos para convertirse en fragmentos o parches cada vez de menor tamaño. (Galván Guevara, Ballut Dajud, & De La Ossa V., 2015)

Los ecosistemas andinos presentan coberturas fragmentadas y discontinuas debido a la alta transformación; el 85% del área de bosques pre montanos y montanos han sido alterados en cierto grado, siendo la mayor parte de forma severa, generando la pérdida progresiva de grandes extensiones de bosque y en consecuencia creando impactos negativos en el ambiente, tales como cambios en su dinámica y disminución en la biodiversidad de especies, las cuales a medida que desaparecen de los fragmentos, van perturbando las interacciones existentes, provocando posiblemente extinciones. (Quintero Gallego, Vila ortega, & Gómez Marín, 2014)

En el presente trabajo se demuestra un estudio de evaluación de impacto ambiental que se realiza a partir de un análisis de las coberturas existentes en áreas de influencia de 28 microcuencas que representan el área de jurisdicción de la CDMB, permitiendo observar cómo se encuentran en cuanto a fragmentación y de qué manera influyen positiva o negativamente en la calidad del ecosistema presente.

Para analizar esta situación se requiere de un estudio ejercido a través de métodos y herramientas satelitales que permiten procesar los datos desde una perspectiva espacial, mediante el análisis de una imagen satelital que permita reconocer las coberturas presentes mediante análisis de NDVI, así como realizar cálculos por medio de programas que evidencien los estados de fragmentación de cada zona como un estudio conjunto.

Además, se podrá evidenciar y evaluar la calidad ambiental de las áreas de influencia, identificadas mediante el uso de una metodología de evaluación de impactos que incluya los valores obtenidos en los análisis realizados con anterioridad y que permita observar la transformación de las coberturas, así como las consecuencias que conlleve su continuo proceso de degradación, permitiendo así presentar un estudio que sea de utilidad para las entidades encargadas al momento de ejercer actividades de conservación y reforestación de las zonas.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia, por el noroeste, en la región Andina se encuentra localizado el departamento de Santander, en el cual se encuentra Bucaramanga, municipio en el que se ubica la autoridad ambiental corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga CDMB, la cual cuenta con la jurisdicción de 28 microcuencas priorizadas en los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón, Piedecuesta, Lebrija, Rionegro, El playón, Tona, Vetas, surata, matanza, Charta y california pertenecientes al departamento de Santander. (CDMB, 2017)

Estas fuentes hídricas abastecen los acueductos urbanos y rurales cumpliendo un papel importante en la producción y captación de agua, la cual permite que los usuarios y comunidad aledaña aproveche del recurso y que cada ente municipal cuente con cobertura de un sistema de agua potable.

Sin embargo, se presenta un problema, siendo este el cambio y afectación de las coberturas presentes en el área de las microcuencas por la intervención antrópica alterando el funcionamiento y la dinámica del recurso; debido a que no se han contemplado actualmente el uso de herramientas como lo son las imágenes satelitales que permitan conocer las coberturas naturales y artificiales actuales (actividades agropecuarias, mineras, pesqueras y urbanas); se desconoce qué tan fragmentado o separado está el bosque presente característico de las rondas hídricas y de importancia para especies de la zona; así mismo, no se obtienen datos de análisis actuales del área de estudio en cuanto a transformación y calidad ambiental debido a que los respectivos análisis no se encuentran actualizados. (CDMB, 2008)

También, influye la falta de conocimiento de la comunidad del por qué se deben proteger las coberturas y ejercer un manejo adecuado del ecosistema para evitar la pérdida de cobertura vegetal que protege las microcuencas y que alberga diversas especies animales y vegetales importantes para la zona.

Además, se presentan diversas consecuencias de no realizarse una acción tales como: el aumento del grado de afectación de los bosques naturales de la ronda hídrica por la falta de uso de herramientas que permitan observar los cambios de cobertura y servir de aporte para el ordenamiento del recurso; por falta de estudios de fragmentación se desconozca que tan separadas se encuentren las coberturas existentes por el cambio de usos del suelo y que consecuencias pueda generar para el área de influencia; por falta de conocimiento de la calidad ambiental del ecosistema y su transformación, se siga presentando aumento de impactos ambientales en la cobertura vegetal, en la producción de oxígeno, en la biodiversidad presente y disminución de los cauces de agua representando una alteración del ecosistema de las quebradas de las cuales se beneficia la comunidad aledaña, el ente municipal y los usuarios que se abastecen por medio de los acueductos. (Alvarez del castillo & Agredo Cardona, 2013)

Con el fin de lograr realizar una evaluación de los impactos ambientales actualmente encontrados se toman como referencia las siguientes preguntas a resolver en el presente trabajo:

- ¿Cómo y por cuál medio se pueden identificar las coberturas vegetales presentes que demuestran los cambios en el funcionamiento de las microcuencas?
- ¿Qué herramientas y métodos estadísticos se pueden utilizar para evidenciar el estado de fragmentación del bosque natural del área de influencia?
- ¿Qué metodología se puede utilizar para la interpretación de los datos obtenidos en el análisis de coberturas y la evaluación de los impactos teniendo en cuenta la transformación de la zona?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, se evidencian transformaciones en la cobertura vegetal característica de las rondas hídricas de las quebradas y ríos debido al aumento de la intervención antrópica y al mal manejo del uso del suelo, alterando la calidad del ecosistema presente y el curso normal de las fuentes hídricas debido a los impactos que generan.

Teniendo en cuenta que estas fuentes de agua son esenciales para el abastecimiento de los acueductos urbanos y veredales y que el bosque natural tiene un papel importante en retardar y reducir la escorrentía superficial, protegiendo los cuerpos de agua y aumentando la infiltración en las áreas de inundaciones, además de funcionar como vía de desplazamiento de la vida silvestre; es importante que se obtenga conocimiento de su estado para una futura conservación, restauración y protección que impliquen una buena gestión por parte de los entes y usuarios involucrados. (Observatorio Ambiental de Cartagena de Indias, 2015)

Por lo tanto, se procede a realizar un levantamiento de información que permita una evaluación con ayuda de varias herramientas ofimáticas e instrumentos estadísticos que permitan una mejor valoración del problema en cuanto a los cambios de cobertura vegetal y su estado actual.

Es necesario entonces, conocer la situación en la que se encuentra la cobertura existente en el área de influencia de las 28 microcuencas priorizadas por la CDMB, representarla en cuanto a porcentaje de zona alterada y evidenciar los diferentes tipos de cobertura presentes analizando el estado de separación o fragmentación de los bosques naturales característicos del ecosistema que evidencien los cambios en la calidad ambiental y los impactos que se generan a partir de su degradación con el fin de evaluar los impactos que se desarrollan por la pérdida de cobertura.

Así mismo, permitir que el estudio sea base para restauraciones futuras del área de influencia, generando ambientalmente un conocimiento para la mejora de las condiciones ecosistémicas de la zona; socialmente permite conocer los sectores para restaurar disminuyendo la vulnerabilidad y/o amenaza en posibles problemas de inundación y erosión de las poblaciones aledañas a las microcuencas permitiendo una exposición de datos que permitan un mejor manejo y uso del recurso, y se expresan observaciones para que no se presente una pérdida económica cuando se realizan cambios en las coberturas para generar siembras de cultivos cercanas a las riberas de las quebradas.

El análisis satelital de las coberturas servirá como aporte primario en la generación de futuros programas de restauración para cada microcuenca que involucren un adecuado uso del recurso, así como también puede servir para otro tipo de análisis que se desee realizar en otro proyecto en cuanto a degradación del terreno.

El proyecto de prácticas es relevante para las UTS debido a que permite alimentar la línea de investigación de geomática además de aportar conocimientos para la línea de

biodiversidad y desarrollo sostenible debido a que se involucra el uso de imágenes satelitales para evaluar la transformación de las coberturas y los impactos a la calidad ambiental.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los impactos ambientales a partir del análisis satelital de coberturas presentes en el área de influencia de las 28 microcuencas priorizadas por la CDMB.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar por medio de una imagen satelital los tipos de cobertura existentes en el área de las microcuencas priorizadas realizando cálculos básicos que permitan conocer el porcentaje de cobertura natural y artificial presentes.
- Calcular el estado de fragmentación del bosque natural presente en las 28 microcuencas mediante el uso de herramientas y métodos que permitan aportar información para una futura restauración de la zona.
- Convertir a impactos ambientales los datos obtenidos en los cálculos realizados a partir de la matriz Batelle-Columbus con énfasis en función de transformación de la calidad ambiental.

1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

Para la elaboración del proyecto de prácticas se tiene en cuenta la información encontrada en documentos ya ejecutados y artículos de las microcuencas que hayan sido basados con respecto al análisis de imágenes satelitales y riesgos presentados con anterioridad en las zonas; así mismo, se demuestran proyectos elaborados que se relacionan con el uso de imágenes satelitales para un objeto en estudio, estos sirven como referencia para la elaboración del proyecto a presentar.

Teniendo en cuenta que muchos de los análisis de varias microcuencas se encuentran incluidos en los informes y planes de manejo de subcuencas elaborados por la CDMB se demuestran informaciones realizadas con el uso de imágenes satelitales.

En el POMCA elaborado para la subcuenca Lebrija alto en el año 2007 por la CDMB, se involucra información acerca de la microcuenca la Angula que en conjunto con otras microcuencas (Lajas, Honda y Aburrido) son analizadas, identificando las coberturas y uso actual por medio de mapas satelitales señalando en estos, usos agropecuarios, agroforestal, y forestal, así como bosques protectores, se demuestra también, en mayor valor conflicto de uso del suelo por tierras en uso inadecuado. (CDMB, 2007)

En el POMCA elaborado para la subcuenca del río de oro enfocada a la parte alta, media y baja del río, según el análisis de cobertura y uso del suelo se demuestra que en el oro bajo hay actividades agropecuarias con potreros abiertos, cultivos mixtos y cultivos semipermanentes; en el oro medio se presentan actividades agropecuarias, agroforestales, suelos erosionados igualmente que en la parte alta; la mayoría cuenta con bosque natural secundario y rastrojos. (CDMB, uso actual de tierras, 2007)

En cuanto al riesgo por impactos según la CDMB en el plan de acción y atención de la emergencia y mitigación elaborado en el 2011; se demuestra que en la quebrada angula y la quebrada las raíces se han presentado inundaciones, represamientos y ascensos del nivel del agua en algunos drenajes cercanos al área urbana de Lebrija generando afectaciones a la comunidad.

En el municipio de Charta, en la quebrada la prensa se han presentado deslizamientos debido a la desprotección de la ronda hídrica y la práctica del uso del suelo por hacer potreros para la ganadería. Así mismo, en la quebrada Altos de Tomasa del municipio de Tona se evidenciaron deslizamientos por remoción en masa, así como represamientos afectando a la comunidad aledaña a la quebrada. (descripción de la situación en los restantes municipios del área de jurisdicción de la CDMB, 2011)

También, se conocen otros estudios realizados con el uso de imágenes satelitales LANDSAT a nivel nacional; Suárez Parra, Cély Reyes y Forero Ulloa en su artículo "Validación de la metodología Corine Land Cover (CLC) para determinación espacio-temporal de coberturas: caso microcuenca de la quebrada Mecha (Cómbita, Boyacá), Colombia para la revista Biota colombiana habla del uso de imágenes LANDSAT 8 2014 y 2015 las cuales son ortorrectificadas y arregladas según las especificaciones a escala 1:100.000 propuesto por el IDEAM para el conocimiento del cambio de uso del suelo y cobertura de la microcuenca que afecta la capacidad hídrica de la fuente, sirviendo de base para decisiones de protección y conservación. (Suárez Parra, Cély Reyes, & Forero Ulloa, 2016)

A nivel internacional, en México, se realizó un proyecto "análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de Valle de Santiago" el cual, tiene por objeto el análisis del cambio de uso del suelo mediante imagen satelital y técnicas de percepción remota, utilizando como método la comparación de 4 imágenes satelitales, tres LANDSAT 3,4 y 7 las cuales se encuentran en la proyección universal transversal de mercator (UTM) zona 14 N Datum WGS84 y la otra de tipo SPOT 5 para demostrar los cambios ocurridos en tres décadas, la detección de los cambios fue originada en 6 periodos de tiempo y dividida en cuatro clases (vegetación, agua, agricultura y urbano), así mismo, el autor realizó un análisis de impactos por los cambios ocurridos teniendo en cuenta las pendientes de la zona mediante el uso del software ERDAS 8.7 para obtener como resultado un análisis en la predominancia de la agricultura, el aumento de cubierta por vegetación pero para uso ganadero y una disminución de la cubierta de agua que afecta la comunidad. (Pineda Pastrana, 2011)

2. MARCOS REFERENCIALES

2.1. MARCO TEORICO

2.1.1. MEDIO UTIL PARA IDENTIFICAR COBERTURAS DE TIERRA DEMOSTRANDO CAMBIOS EN EL FUNCIONAMIENTO DE MICROCUENCAS

Las cuencas y microcuencas se pueden considerar como unidades sostenibles que en equilibrio reflejan beneficios ambientales, económicos y sociales para una comunidad; debido a la importancia de obtener un buen manejo, requieren de un ordenamiento específico que permita conocer y organizar las actividades que se desarrollan a su alrededor y que por ende pueden afectar el recurso hídrico por la pérdida de la cobertura que lo protege.

Por tal motivo existen herramientas como los sistemas de información geográfica, los cuales permiten el análisis de imágenes satelitales identificando las coberturas de las rondas hídricas permitiendo ser un aporte al manejo y conservación de las microcuencas.

2.1.1.1 HERRAMIENTAS PARA EL ESTUDIO DE COBERTURA DE LA TIERRA

- **Imágenes satelitales:**

Una imagen satelital representa visualmente los datos reflejados por la superficie terrestre, capturados por un sensor montado en un satélite artificial. Esa información es enviada a una estación terrena en donde se procesa y se convierte en imágenes, permitiendo obtener un conocimiento de las características de la Tierra en diferentes escalas espaciales (Sosa Reyes, 2015). Las imágenes satelitales son una herramienta importante al momento de querer conocer información de un fenómeno o un objeto.

Cuando las imágenes ya están corregidas y listas para elaborar el análisis respectivo contienen unas matrices de celdas (píxeles), los cuales son formados por filas y columnas, en donde cada una hace representación de un área geográfica indivisible permitiendo conocer el mínimo detalle; el tamaño del píxel varía según el satélite que se utilizó para la toma de la imagen.

Cada píxel tiene un valor numérico, este representa un promedio de la cantidad de energía solar que se refleja de la superficie terrestre, dependiendo entonces de lo que se encuentre en el terreno, ya sean cultivos, suelos desnudos, entre otros; al captarse diversos niveles de energía se presentan coloraciones diferentes representando diversas zonas en la imagen (Barrera Zuñiga & Garcia Orduña, 2015). Se denota entonces que la resolución dependerá del tamaño del píxel.

Los píxeles son de gran utilidad a la hora de realizar los cálculos para hallar el área que ocupa la cobertura encontrada en la imagen, es decir, como los píxeles representan

diversos colores, cada color representa un valor y ese valor es utilizado para hallar el área ya sea en metros cuadrados o en hectáreas haciendo posible conocer cuántas hectáreas ocupa cierta cobertura encontrada y permitiendo realizar cálculos para especificar el porcentaje de esta misma.

Al poderse realizar los cálculos necesarios se pueden ejercer análisis respectivos en cuanto a que tipo de cobertura predomina en la imagen satelital y se demuestra que otras coberturas se pueden encontrar.

Caracterización de imagen satelital por resolución:

- ✓ Resolución espacial: corresponde al tamaño del pixel de la imagen, si el pixel es de mayor tamaño se caracteriza como resolución espacial, es decir, permite que los objetos sean vistos con mayor detalle.
- ✓ Resolución espectral: consiste en el número de canales espectrales y anchos de banda disponible que puede captar un sensor.
- ✓ Resolución temporal: trata del tiempo que tarda el satélite en tomar dos imágenes, es decir, trata de la frecuencia del satélite para pasar por un mismo punto.
- ✓ Resolución radiométrica: se refiere a la cantidad de niveles de gris en que se puede dividir la radiación recibida para ser almacenada y procesada.

Las imágenes satelitales son tomadas del satélite LANDSAT el cual fue diseñado y puesto en operación con el fin de observar en repetidas ocasiones la cubierta de la tierra con resolución moderada; el satélite cuenta con varias versiones de LANDSAT que permitieron obtener información tras el paso de los años; actualmente y para el análisis de las coberturas en desarrollo se tiene en cuenta el ultimo LANDSAT 8.

- **LANDSAT 8**

Este sistema se compone de dos segmentos: el observatorio y el sistema terrestre; en el observatorio se recogen los datos de manera conjunta para proporcionar imágenes que sean coincidentes de la superficie terrestre, incluyendo las regiones costeras, islas, entre otros; Por otra parte, el sistema terrestre proporciona la capacidad necesaria para la planificación y programación de las operaciones del LANDSAT 8 y todas aquellas necesarias para administrar y distribuir los datos. (IGAC, 2013)

El sensor utilizado es el OLI y el TIRS, altitud de órbita es 705 km, este satélite cuenta con una resolución radiométrica de 16 bits, una resolución espacial de 30 metros y en su resolución espectral contiene 11 bandas; su frecuencia en generar nuevas imágenes es de 16 días y el tamaño de la imagen generada es de 185km x 185km; para la obtención de sus datos se pueden encontrar archivos desde el 2013 hasta el presente.

2.1.1.2 ANÁLISIS DE COBERTURAS

Para el análisis de coberturas se tiene en cuenta el NDVI (índice diferencial normalizado de vegetación) el cual es utilizado para estimar con más claridad la densidad de vegetación existente. Esto ocurre gracias a que las plantas absorben la radiación solar en la región del espectro de radiación fotosintética, esta radiación es usada por la planta, como fuente de energía para realizar el proceso de fotosíntesis permitiendo que se puedan observar con más precisión mediante el satélite. Este proceso se percibe en la banda del infrarrojo cercano NIR. (Hernandez Menco, 2017)

Para el proceso de análisis de la vegetación se utiliza el infrarrojo cercano y lejano, a continuación se observan las bandas en las que se encuentran: (IGAC, 2013).

Tabla 1 Distribución de bandas espectrales

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Bandas	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
February 11, 2013	Banda 1 – Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
	Banda 2 – Azul	0.45 - 0.51	30
	Banda 3 – Verde	0.53 - 0.59	30
	Banda 4 – Rojo	0.64 - 0.67	30
	Banda 5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Banda 6 – SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Banda 7 – SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Banda 8 - Pancromático	0.50 - 0.68	15
	Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	*Banda 10-Infrarrojo térmico(TIRS)1	10.60 -11.19	100
	*Banda 11-Infrarrojo térmico(TIRS)2	11.50 -12.51	100

Fuente: (IGAC, 2013)

* Las bandas TIRS se adquieren a una resolución de 100 metros, pero se vuelven a remuestrear a 30 metros.

Para el análisis de coberturas se tomará en cuenta las bandas 4,5 y 7, las cuales son rojo, infrarrojo cercano y SWIR 2; el rojo tiene como característica la diferenciación de la vegetación por especie, el infrarrojo cercano representa la cartografía de la vegetación, la cartografía del vigor/ salud de la vegetación y la diferenciación de la vegetación por especie. (Barrera Zuñiga & Garcia Orduña, 2015)

Las bandas 10 y 11 son bandas termales y son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie.

Las coberturas son categorizadas de acuerdo a la firma espectral desarrollada en cada banda, las firmas espectrales también llamadas curvas características representan la energía reflejada en relación a las longitudes de onda, estas son indicativas del

comportamiento espectral de distintos objetos en las diferentes bandas espectrales tales como suelo, vegetación, agua.

Cada firma espectral tiene un rango de longitud de onda que indica cierto tipo de vegetación existente, esto permite identificar con mayor precisión la vegetación que puede presentarse en el área escogida; al tener conocimiento de la cobertura de tierra encontrada se procede a realizar el respectivo análisis en conjunto con el valor de píxeles por cada cobertura.

De acuerdo con la leyenda nacional para la zonificación de coberturas de la tierra, metodología Corine Land Cover adaptado para Colombia en escala 1:100.000 se presentan 5 categorías de primer nivel jerárquico que integran otras con relación a un mismo enfoque, presentándose así, un subnivel de hasta 4 categorías. (IDEAM, 2010)

Las categorías de primer nivel se definen como:

- **Territorios artificializados**: corresponden a las áreas de ciudades, centros poblados y sectores periféricos que estén siendo incorporados a zonas urbanas mediante procesos de cambios de uso de suelo y urbanización que conlleven a fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos.
- **Territorios agrícolas**: Son terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho. Comprende las áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas.
- **Bosques y áreas seminaturales**: Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos climáticos; también por aquellos territorios constituidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos y arenosos, resultantes de la ocurrencia de procesos naturales o inducidos de degradación. También se incluyen otras coberturas que son el resultado de un fuerte manejo antrópico, como son las plantaciones forestales y la vegetación secundaria o en transición.
- **Áreas húmedas**: Comprende aquellas coberturas constituidas por terrenos anegadizos, que pueden ser temporalmente inundados y estar parcialmente cubiertos por vegetación acuática, localizados en los bordes marinos y al interior del continente.
- **Superficies de agua**: Son los cuerpos y cauces de aguas permanentes, intermitentes y estacionales, localizados en el interior del continente y los que bordean o se encuentran adyacentes a la línea de costa continental, como los mares. Se incluyen en esta clasificación los fondos asociados a los mares, cuya profundidad no supere los 12 metros.

Estas categorías permiten ser observadas al momento de identificar las coberturas por medio de las longitudes de onda que se evidencian en la obtención de la imagen satelital.

2.1.2. ESTADO DE FRAGMENTACIÓN DEL BOSQUE NATURAL EN UN ÁREA DE INFLUENCIA

la fragmentación de bosques naturales se evidencia en las rondas hídricas demostrándose por medio de un análisis de imagen satelital que se presentan áreas de coberturas que demuestran los cambios o el estado en que se encuentran los terrenos, estas clases fragmentos se denotan como:

- No bosque: son terrenos que nunca han tenido una cobertura forestal, áreas que no han soportado árboles, o zonas donde cambio el tipo de cobertura, en esta área se incluyen plantaciones, cultivos y árboles de producción agropecuaria.
- Parches: son zonas o fragmentos de bosque con áreas menores a 101 hectáreas que han sido resultado de cambios de cobertura a sus alrededores para otros usos del suelo.
- Borde: Límite de los fragmentos de bosque entre 101 y 202 hectáreas, a una distancia al borde del bosque de 100 m. se demuestra como una franja rodeada de sectores de no bosque.
- Perforado: Límite de las áreas de no bosque rodeadas por fragmentos de bosque entre 101 y 202 hectáreas, a una distancia al borde del bosque de 100 m., se representa como zonas de bosque natural modificadas.
- Núcleo: Fragmentos de bosque con un área mínima de 202 hectáreas. hace referencia a zonas de bosque que aún permanecen con un dosel alto.

Según el IDEAM el grado de afectación de estas zonas indica que un parche es crítico, un borde es alto, un área perforada es moderada y un núcleo presenta un estado bajo de afectación. (J.P., G.A., A.P., & E., 2018)

2.1.2.1 HERRAMIENTAS Y METODOS PARA EVIDENCIAR EL ESTADO DE FRAGMENTACIÓN

Se desarrollan diversos métodos mediante índices de continuidad de Vogelmann, diversidad de formas de Patton, índice de compactación de Pincheira que permiten evidenciar las diferentes condiciones en las que se encuentran los bosques naturales presentes en un área de estudio para determinar con una serie de cálculos realizados mediante el procesamiento de imágenes satelitales la información acerca de la degradación y condiciones actuales de la cobertura existente.

Estos cálculos permiten analizar la forma de los fragmentos de bosque presentes, la continuidad espacial o conectividad entre un bosque u otro, la densidad de los fragmentos existentes y la fragmentación misma del bosque.

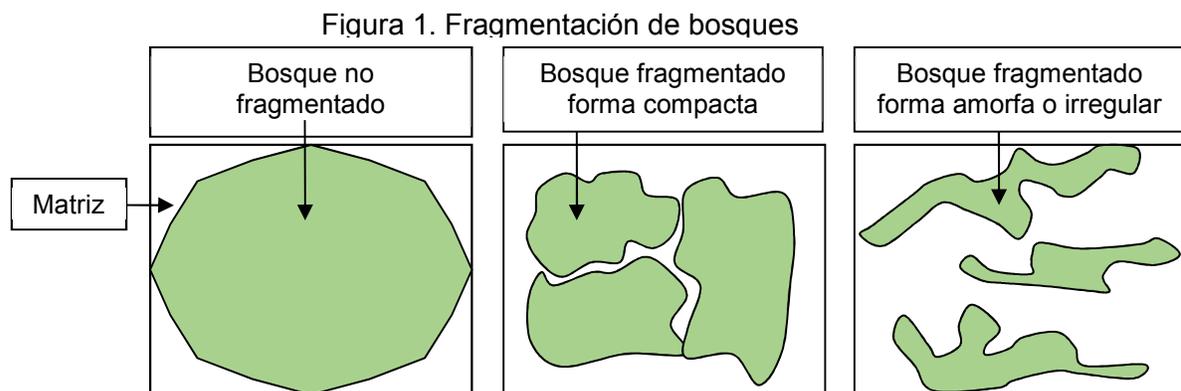
Se presentan dos tipos de índices de identificación del estado de fragmentación de un área: unos se calculan con valores de área y otros se calculan con herramientas de los sistemas de información geográfica. (Lozano Botache, Gómez Aguilar, & Valderrama Chaves, 2011)

2.1.2.1.1 ÍNDICES BASADOS EN VALORES DE ÁREA:

Índices de forma

Teniendo presente que una matriz hace referencia al área donde se encuentran inmersos los fragmentos, es decir, es la comunidad o actividad antrópica existente, el cual también puede ser definido como el mosaico de hábitats con distinto grado de alteración y destrucción con respecto al hábitat original. (J.M., 2011)

La matriz puede determinar la forma de los fragmentos de bosque, esta forma puede afectar directamente la dinámica del ecosistema que los constituyen debido a que formas compactas son resistentes a los efectos negativos de la matriz; las formas amorfas, o formas irregulares, pueden tener un perímetro más largo por unidad de área y ser significativamente sensibles a los efectos negativos externos, es decir, entre más compacto y extenso sea el fragmento y su área, menos vulnerabilidad tiene a los efectos negativos que se generen por acción de la matriz existente. (Figura 1).



Fuente: autor

Como se demuestra en la figura 1, el primer recuadro corresponde a un bosque sin practicarse fragmentación, en este la matriz no tiene efectos negativos debido a que esta representa una pequeña zona en comparación con la cobertura vegetal que recubre un área extensa; en el segundo recuadro se demuestra un bosque fragmentado con una continuidad de parches mínima representando una forma compacta y resistente a la matriz; en el tercer recuadro se identifican fragmentos de bosque de formas alargadas y con una matriz más extensa representando una distancia entre parches alta y una probabilidad de pérdida de cobertura y biodiversidad existente.

2.1.2.1.1.1 Índice de diversidad de forma de Patton.

Es un método aplicado para evaluar la fragmentación de los bosques; cuando el resultado del índice es 1 se denota la forma del fragmento semejante a un círculo, a medida que éste va en aumento, la forma se torna más compleja y aumenta el efecto de borde de las áreas circundantes o adyacentes, se considera que índices de diversidad superiores a 2 reflejan formas amorfas.

$$DI = \frac{P}{2 \times \sqrt{3.1416} \times \sqrt{A}}$$

Dónde:

DI: Índice de diversidad de Patton.

P: perímetro de cada fragmento.

A: área de cada fragmento.

El índice de diversidad se agrupa en cinco intervalos de la siguiente forma:

Tabla 2. Forma de fragmentos según Patton

Forma	Índice (DI)
Redondo	< 1.25
Oval- redondo	1.25 ≤ 1.50
Oval oblongo	1.50 ≤ 1.75
Rectangular	1.76 ≤ 2
Amorfo o Irregular	>2

Fuente: Patton D. R. 1975. En (Lozano Botache, Gómez Aguilar, & Valderrama Chaves, 2011)

✓ Índice de compactación.

El índice Indica el grado de fragilidad o exposición del fragmento o parche a los efectos de la matriz, con valores que oscilan entre 0 y 1, siendo frágiles o sensibles los más cercanos o con valor igual a 0; y menos frágiles o con menos exposición a efectos negativos los que se encuentran más cercanos o con un valor igual a uno (1), expresándose de la siguiente forma:

$$\frac{1}{DI}$$

Dónde:

DI: Índice de diversidad de Patton.

2.1.2.1.2 **ÍNDICES BASADOS EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICAS:**

✓ Continuidad espacial.

La continuidad espacial del bosque garantiza la supervivencia de las especies (vegetales y animales) y por lo mismo, el intercambio continuo de genes. Para la evaluación de la continuidad espacial, como indicador de fragmentación, se utiliza el Índice de continuidad de Vogelmann, el cual se demuestra de la siguiente forma:

$$FCI = \ln \left(\frac{\sum A}{\sum P} \right)$$

Dónde:

FCI: Índice de continuidad de Vogelmann.

$\sum A$: área total de parches de bosque del paisaje, en metros cuadrados (m²).

$\sum P$: perímetro total de parches de bosque del paisaje en metros (m).

Los valores altos implican mayor continuidad del bosque y valores bajos reflejan mayor fragmentación y discontinuidad de los parches de bosque.

✓ Distancia media al fragmento vecino más cercano (MNN).

Se calcula sumando la distancia que separa un fragmento de su vecino más cercano, dividiendo luego el resultado por el número de fragmentos.

El indicador se aproxima a cero cuando todos los fragmentos en que está dividido un ecosistema, en un área de interés y en un tiempo dado, están cercanos unos de otros, y aumenta, $MNN \geq 0$, cuando dichos fragmentos están separados.

$MNN \geq 0 \rightarrow$ Fragmentos separados.

$MNN \leq 0 \rightarrow$ Fragmentos cercanos.

✓ Grado de fragmentación.

La fragmentación total del paisaje se estima a través de la relación entre el área de bosque y el área total:

$$F = \text{área de bosque}(ha) / \text{área total}(ha)$$

Los valores de F oscilan entre 0 y 1. F se caracteriza de acuerdo con los rangos de valores presentados:

Tabla 3. Valores grado de fragmentación.

Rangos F	Grado de fragmentación.
F = 1	Sin fragmentación.
F = <1 ≤ 0,7	Fragmentación moderada.
F = 0,7 ≤ 0,5	Altamente fragmentado.
F = <0,5	Insularizado.

Fuente: Díaz Lacava A.N., 2003. En (Lozano Botache, Gómez Aguilar, & Valderrama Chaves, 2011)

✓ Densidad de parches.

La densidad de parches muestra el número de parches por cada mil hectáreas.

2.1.2.2 RELACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN Y EL CAMBIO DEL ECOSISTEMA.

La fragmentación de los bosques se da de manera natural o antrópica, de manera natural se presenta la separación por perturbaciones como caída de grandes árboles, inundaciones, movimiento de masas de suelo, incendios que son originados por condiciones climáticas cambiantes y acción natural; la fragmentación generada por acción antrópica hace referencia a la expansión de tierras, la agricultura o eliminación de terrenos para actividades de extracción y urbanización que practican las personas y que por ende ocasionan una alteración y cambio de los ecosistemas presentes que a su vez actúan como albergue de especies y reguladores del recurso agua.

Cuando se presenta la fragmentación de bosques se originan una serie de acontecimientos que implican el deterioro y pérdida del ecosistema presente; al ocurrir una separación en fragmentos o parches se genera un cambio de la biodiversidad existente en el bosque inicial debido a que ocurre una separación del hábitat y por ende una pérdida del mismo, también se ve afectada la biodiversidad por la insularización que se genera por la reducción y aislamiento progresivo de los fragmentos, así como por los efectos de borde.

Al generarse una fragmentación se presenta un cambio en el paisaje, este puede ser representado mediante las siguientes variables:

Tabla 4. Variables de cambio de paisaje

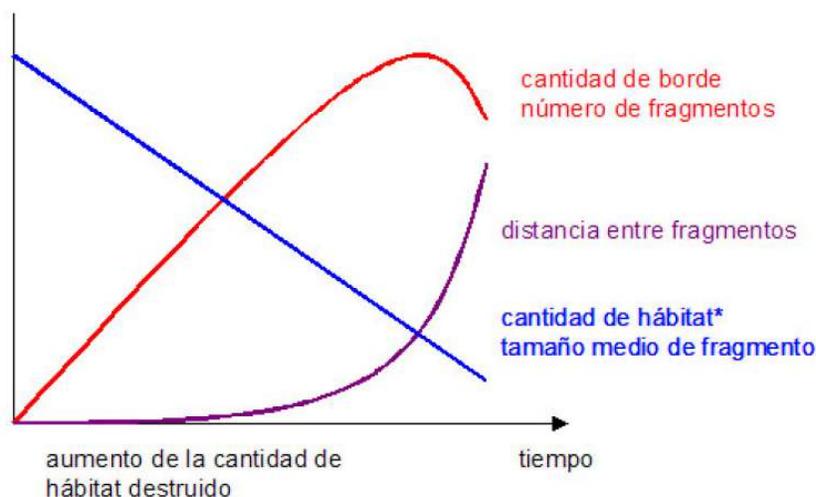
VARIABLES	DESCRIPCION
<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida regional en la cantidad de hábitat. 	Genera una disminución en la densidad regional de las especies (número de individuos por unidad de superficie en toda la región considerada).
<ul style="list-style-type: none"> • Disminución del tamaño medio y un aumento del número de los fragmentos de hábitat resultantes. 	Reduce el tamaño de población de cada fragmento, aumentando el riesgo de que alcancen el umbral por debajo del cual son inviables.
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la distancia entre fragmentos. 	Presenta una dificultad para el intercambio de individuos entre poblaciones alejadas siendo compleja su reposición.

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la relación perímetro/superficie. | <p>Genera una mayor exposición del hábitat fragmentado a múltiples interferencias de los hábitats periféricos, llamados "matriz de hábitat". Se da un creciente efecto de borde que origina un deterioro de la calidad del hábitat en regresión, afectando a la supervivencia de las poblaciones encontradas en los fragmentos.</p> |
|--|---|

Fuente: (Santos & Tellería, 2006)

A continuación, se presenta una gráfica que describe lo que ocurre con estas variables las cuales definen los cambios más característicos de un paisaje mientras ocurren en este los procesos de pérdida y fragmentación de hábitat; teniendo en cuenta que varias variables tienden hacia una misma dirección y que por consiguiente se ilustra una tendencia para ambas.

Figura 2. Tendencia de variables en paisajes

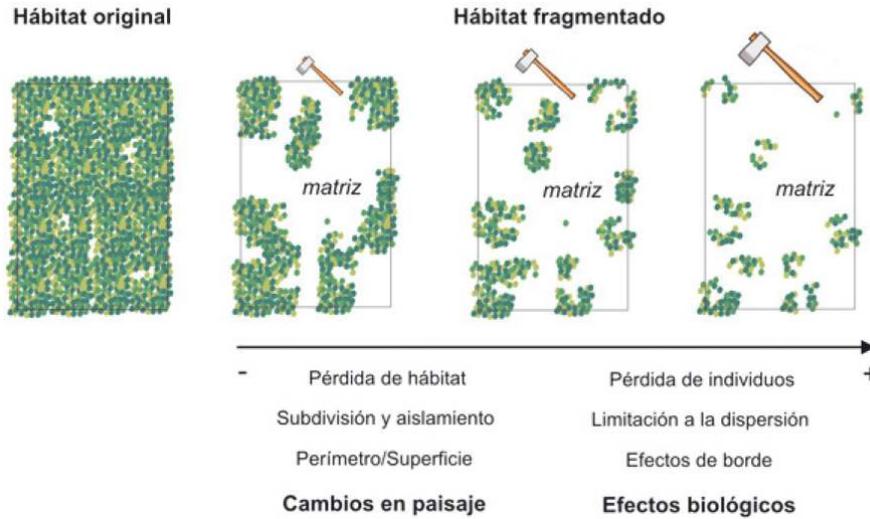


Fuente: (Santos & Tellería, 2006)

Es de especial importancia el incremento no lineal de la distancia entre fragmentos, una medida inversa de la conectividad del paisaje que proporciona la explicación más aceptable de que la pérdida de especies en los fragmentos (extinciones locales) se dispare a partir de un cierto umbral en la cantidad de hábitat destruido. Se denota que conforme disminuye la cantidad de hábitat en retroceso se produce un incremento de proporciones inversas del hábitat antrópico que lo sustituye. (Santos & Tellería, 2006).

Cuando se realiza una actividad ya sea de ganadería, cultivos, expansión agrícola o urbanística se ejercen cambios en la cobertura presente en un área originando un cambio de uso del suelo y por ende una alteración de un paisaje original generando así unos efectos biológicos, se demuestra entonces tres procesos que permiten el cambio del ecosistema: 1) la pérdida progresiva de superficie de hábitat original; 2) la subdivisión creciente del hábitat remanente; y 3) el incremento de la relación perímetro/superficie en dicho hábitat; estos procesos actúan de manera conjunta mediante se va ejerciendo el cambio de cobertura

Figura 3. Cambio del paisaje hábitat original y fragmentado

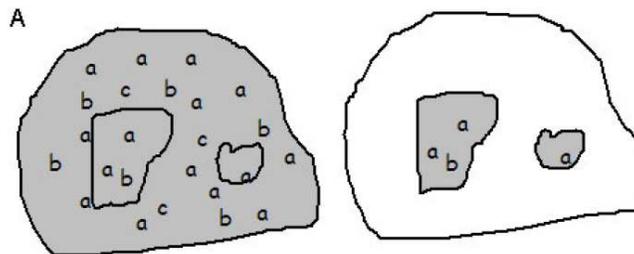


Fuente: (García, 2011)

En cuanto al ecosistema presente se demuestran cambios en las especies que habitan en los bosques, teniendo en cuenta que se mantienen aquellas que se adaptan a las alteraciones sufridas en el paisaje y aquellas cuyo número de población es elevado. Es así como se denota que al fragmentarse un bosque por diversas acciones se evidencia las variables del cambio de paisaje y su influencia en las especies, demostrándose que:

- A un tamaño de fragmento dado las especies más densas tendrán mayor probabilidad de permanecer que las menos densas.
- cualquier especie tiene mayor probabilidad de supervivencia en fragmentos procedentes de fragmentos más grandes en donde se han albergado originalmente mayores densidades de poblaciones.
- cuanto mayor sea un fragmento mayor será su probabilidad de acumular un elevado número de especies.

Figura 4. Retención de especies en eventos de fragmentación



Fuente: (Santos & Tellería, 2006)

En la ilustración 3 se observa lo que ocurre con las especies, en este caso hay presencia de tres especies de las cuales la número (a) tiene mayor población, lo que permite que esta predomine y se mantenga durante los procesos de fragmentación, también se observa que la especie c desaparece al ocurrir una fragmentación, debido a que es una especie de menor tamaño.

2.1.3. METODOLOGÍA PARA LA INTERPRETACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EN UN ANÁLISIS DE COBERTURAS Y LA EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS

Para la interpretación de datos y valores dados en el análisis de una zona ya sea de manera satelital o en campo se utilizan herramientas que permiten evaluar los impactos que se generan ya sea que se esté analizando un proyecto relacionado con el recurso hídrico o se desee planificar un proyecto a mediano o largo plazo con el fin de disminuir su nivel de impacto.

Estas herramientas se utilizan para identificar, predecir, interpretar, prevenir, valorar y comunicar los impactos de una zona; para la valoración de los impactos se pueden utilizar metodologías como matrices, listas de chequeo, redes y superposiciones de imágenes; las herramientas usadas pueden ser predicciones, modelos de SIG, cuantificación y cualificación (Toro Calderón, Martínez Prada, & Arrieta Loyo, 2013).

Para la elección del método, es necesario analizar los métodos utilizados para la valoración de los impactos ambientales en el proceso de EIA, con el fin de generar información que permita tomar decisiones relacionadas a la construcción de propuestas más eficientes.

En el caso del tema de estudio de análisis de coberturas pueden utilizarse métodos de interacción (causa-efecto) y cuantitativos, este último permite una valoración y un análisis más específico y acertado en conjunto con el uso de SIG, por ende, es el tomado para el análisis respectivo.

El método de Batelle- Columbus funciona como una lista de verificación con escalas de ponderación que contempla la descripción de los factores ambientales, la ponderación y asignación de unidades de importancia a cada aspecto.

La metodología se basa en una lista jerárquica de indicadores de impacto que se subdividen a su vez demostrándose como un sistema de cuatro niveles de clasificación:

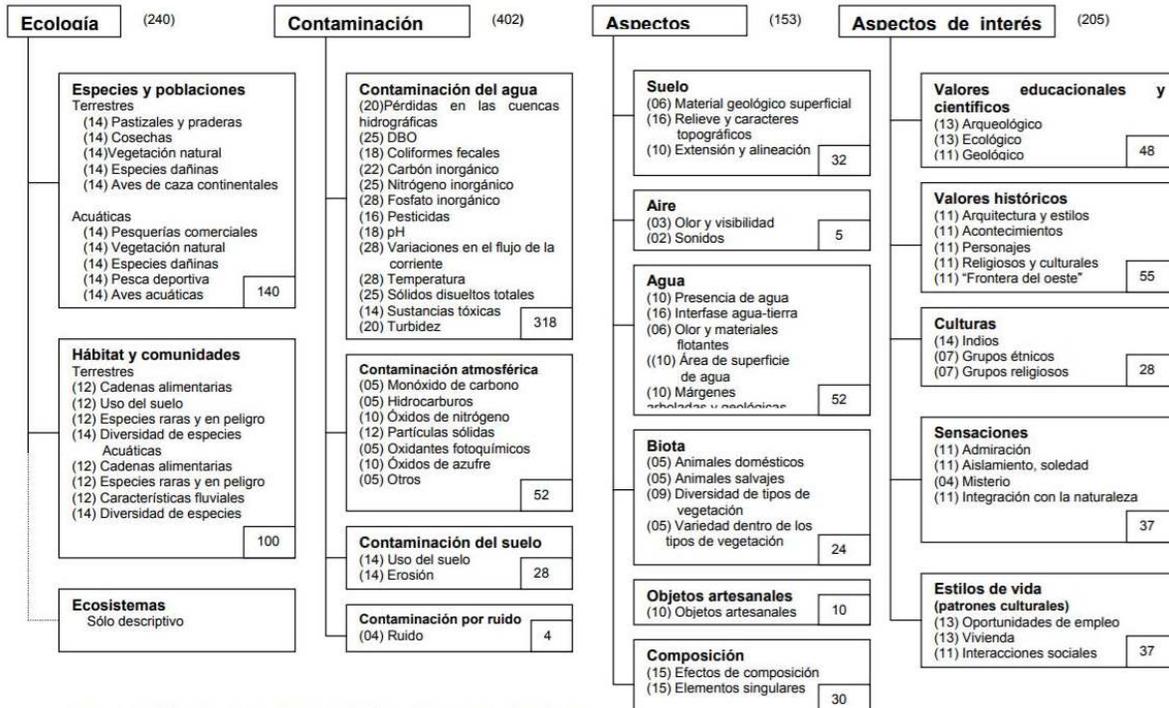
Nivel 1: contiene 4 categorías.

Nivel 2: contiene 18 componentes.

Nivel 3: contiene 78 parámetros.

Nivel 4: hace referencia a las **mediciones** como unidad de índice ponderal (UIP) de cada categoría, componente y parámetro expresado con anterioridad.

Figura 5. Metodología de evaluación de impactos ambientales



Fuente: (García Leyton, 2004)

Nota: en el componente agua, el ultimo parámetro es: márgenes arboladas y geológicas. (10 puntos).

Estableciéndose que el primer nivel corresponde a las categorías: ecología, contaminación, aspectos estéticos y aspectos de interés humano; que el segundo nivel hace referencia a los componentes: especies y poblaciones, hábitat y comunidades, ecosistemas (teniendo presente que esta es descriptiva, es decir, no es cuantitativa), contaminación del agua, contaminación atmosférica, contaminación del suelo, contaminación por ruido, suelo, aire, agua, biota, objetos artesanales, composición, valores educativos y científicos, valores históricos, culturas, sensaciones y estilos de vida (patrones culturales).

El tercer nivel corresponde a los parámetros que se desglosan de los 18 componentes, así mismo, el nivel cuatro indica las valoraciones demostradas que dan como resultado conjunto 1000 puntos o mil unidades, y que están representando cada nivel con su respectivo valor asignado, estos puntos son expresados como UIP o índice ponderal, siendo estas unidades de importancia.

Después de obtenidos los parámetros, es importante evaluar en unidades comparables (conmensurables) sus valores obtenidos, por tal motivo se transformarán estos mismos para que puedan ser sumables mediante técnicas de transformación con el fin de representar la calidad del medio ambiente.

Se utiliza entonces una técnica de transformación en “unidades de impacto ambiental” (UIA) que consta de tres pasos: (Pinto Arroyo, 2007)

- ✓ transformar los datos en su correspondiente equivalencia de índice de calidad ambiental para el parámetro correspondiente.
- ✓ Ponderar la importancia del parámetro considerado, según su importancia relativa dentro del medio ambiente.
- ✓ A partir de los pasos anteriores, expresar el impacto neto como resultado de multiplicar el índice de calidad por su índice ponderal.

2.1.3.1 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL

Para el cálculo de la calidad ambiental se requiere trasladar las medidas de cada parámetro (ejemplo: SO_2 , DBO , entre otros), que se encuentran en unidades inconmensurables a unidades conmensurables siendo representada mediante una escala de puntuación de 0 y 1; considerando estos dos extremos, se indica que el extremo de valor 0 es pésimo y el extremo de valor 1 es óptimo quedando comprendidos en el medio de estos, los valores intermedios que definen los estados de calidad del parámetro

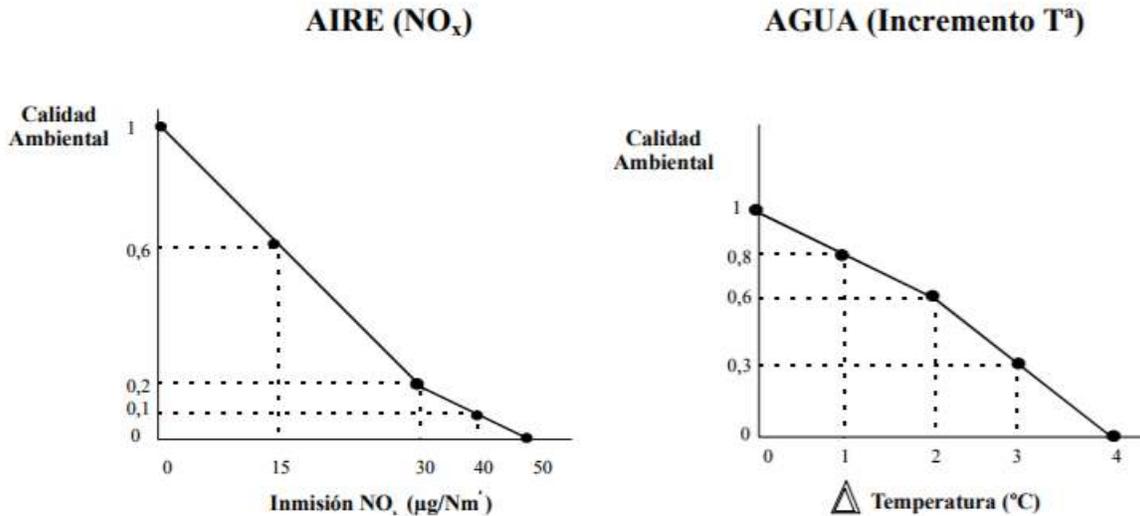
La función de transformación o evaluación $f(M_i)$ de la calidad ambiental de un parámetro i en función de su magnitud (M) se define como:

$$CA_i = f(M_i)$$

La función (calidad- magnitud) puede ser lineal con pendiente positiva o negativa, puede ser una curva con un punto máximo o mínimo, directa o inversa, según el comportamiento del parámetro seleccionado y el entorno físico y socio económico del proyecto o actividad, permitiendo modificarse o revisarse adecuándose a las necesidades de cada caso. (García Leyton, 2004).

Teniendo presente que para evaluar la calidad del estado de un parámetro definido por su magnitud se debe establecer primeramente la función de evaluación que se puede representar gráficamente con el índice de calidad en ordenadas y la magnitud medible en abscisas; para cada valor obtenido se lleva sobre las abscisas y se obtiene en ordenadas el índice de calidad correspondiente.

Figura 6. Ejemplos de grafica de índice de calidad (componente agua y aire)



Fuente: (Pinto Arroyo, 2007)

2.1.3.2 OBTENCIÓN DE UNIDADES DE IMPACTO NETO (CONMENSURABLES)

En la obtención de las unidades de impacto neto se considera la situación óptima cuando se obtienen los mil puntos al sumar todos los parámetros definidos por los UIP, sin embargo, cuando los parámetros no se hallan en una situación óptima, su contribución a la situación del medio se verá disminuida en el mismo porcentaje que su calidad y, en consecuencia, sus unidades de impacto ambiental UIA expresadas por:

$$(UIA) = (CA)_i \times (UIP)_i$$

2.1.3.3 EVALUACIÓN FINAL DEL MÉTODO

Aplicando el método establecido a la situación del medio si se produce la acción o actividades (con proyecto o acción) y la que tendría el medio si no se realizan (por suma de estado cero y la evolución sin proyecto o acción), se obtendrá para cada parámetro unos valores cuya diferencia indica el impacto neto del proyecto o acción según dicho parámetro:

$$(UIA)_i \text{ CON proy. (o acción)} - (UIA)_i \text{ SIN proy. (o acción)} = (UIA)_i \text{ CON proyecto (o acción)}$$

Su respuesta puede ser positiva o negativa; considerando además que las UIA evaluadas para cada parámetro son conmensurables (medidos), se pueden sumar y evaluar el impacto global de las distintas alternativas de un proyecto para obtener la óptima por comparación.

La evaluación global sirve para tomar medidas que permitan minimizar el impacto y apreciar la degradación del medio como resultado de un proyecto, bien sea a nivel general como específico (categorías, componentes, parámetros).

Para cada parámetro se pueden reflejar los valores en unidades de impacto ambiental neto (UIA) correspondientes “con proyecto o acción”, “sin proyecto o acción” y el referente al proyecto por diferencia de los dos. El impacto total del proyecto será la suma de cada uno de los impactos, expresados en los correspondientes UIA; cuanto más se acerquen a los 1000 puntos (valor óptimo), más positivo es el impacto y cuanto más bajo es negativo. (Pinto Arroyo, 2007).

El modelo también dispone de un “sistema de alerta” por considerar que hay ciertas situaciones críticas por destacar; cuando se presentan impactos adversos y elementos frágiles se establece el uso de banderas o señales rojas.

Tabla 5. Ejemplo de sistema de valoración ambiental Batelle-Columbus

parámetro ambiental	Calidad Ambiental		importancia unidades	valoración en unidades de impacto ambiental		
	sin proyecto	con proyecto		sin proyecto	con proyecto	Cambio Neto
Vegetación natural						
Diversidad de especies						
Uso del suelo						
Perdida de cuencas						
total			1000			

Fuente: (Pinto Arroyo, 2007)

Para cada proyecto, acción o actividad a realizar la evaluación, se eligen los criterios del árbol o la metodología de los factores ambientales según el tipo de actividad que se genere.

2.2. MARCO LEGAL

Tabla 6. Marco legal.

NORMA	CONTENIDO	Relación
decreto-ley 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente en el capítulo 3 de las cuencas hidrográficas	En el artículo 314 y 316 hacen referencia acerca de la protección de las cuencas, manejándolas, evitando riesgos, organizándolas y conservándolas
ley 99 de 1993	se crea el Ministerio de Medio Ambiente como organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables y se establecen lineamientos para fortalecer el Sistema Nacional Ambiental y fijar las pautas generales para el ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas y demás áreas de manejo especial, al igual que establece la competencia a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible en la ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas ubicadas en el área de su jurisdicción.	Artículo 3. Se refiere al desarrollo sostenible en el que se conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin afectar los recursos naturales.
ley 165 de 1994	por medio de la cual se aprueba el "Convenio sobre la Diversidad Biológica"	Artículo 6, hace referencia a la elaboración de planes, estrategias, programas o políticas para la conservación de la diversidad biológica
ley 1450 de 2011	Mediante la cual se expidió el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014	Artículo 215 hace referencia a la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas.
ley 1523 de 2012	mediante la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres	Artículo 31 se refiere a que las corporaciones deben participar en el conocimiento y reducción del riesgo integrándolo en los planes de ordenamiento de cuencas

Decreto 1640 de 2012	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones	Artículos 55, 57 y 58 se refiere al plan de manejo ambiental en microcuencas prioritizadas
Decreto 1076 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Teniendo en cuenta la sección 10. planes de manejo ambiental.
decreto 2245 de 2017	Por el cual se reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el acotamiento de rondas hídricas.	Acerca de realizar los estudios para el acotamiento de las rondas hídricas en el área de su jurisdicción.

Fuente: autor

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA SIG

“Un SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente en la captura, almacenamiento, análisis, transformación y presentación de toda la información geográfica y sus atributos, con el fin de satisfacer múltiples propósitos. Los SIG’s son una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.” (Departamento de la guajira, 2007)

Aplicaciones del SIG a nivel nacional. El uso del SIG para combinar información sobre peligros naturales, recursos naturales, población e infraestructura puede ayudar a los planificadores a identificar áreas menos expuestas a los peligros y más aptas para actividades de desarrollo, áreas que requieren evaluación adicional de los peligros, y áreas donde se deberían priorizar las estrategias de mitigación.

Aplicaciones del SIG a nivel subnacional. Puede ser empleado en evaluaciones de peligros naturales que identifiquen dónde tienen mayor probabilidad de ocurrir los fenómenos naturales peligrosos. Esto, combinado con información sobre recursos naturales, población e infraestructura, puede permitir a los planificadores evaluar el riesgo que presentan los peligros naturales e identificar elementos.

Aplicaciones del SIG a nivel local. Puede ser utilizado en el estudio de la pre factibilidad y factibilidad de proyectos sectoriales y en actividades de manejo de recursos naturales. Puede ayudar a los planificadores a identificar medidas específicas de mitigación para proyectos de inversión de alto riesgo; y también puede ser usado para conocer la ubicación de instalaciones críticas vulnerables y facilitar la implementación de los preparativos de emergencia y actividades de respuesta. En centros poblados, por ejemplo, las bases de datos SIG a gran escala (resoluciones de 100 m2 por unidad) pueden mostrar la ubicación de edificios altos, hospitales, estaciones de policía, albergues, estaciones contra incendios, y otros elementos de los servicios vitales. Combinando estos datos con el mapa de evaluación de peligros - previamente compilado o generado con el SIG - los planificadores pueden identificar los recursos críticos en las áreas de alto riesgo y formular adecuadamente estrategias de mitigación. (Alvarado Bello, 2014)

2.3.2. METODOLOGÍA CORINE LANDCOVER, 2010 ADAPTADO PARA COLOMBIA

La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas. (IDEAM, 2010)

El esquema metodológico Corine Land Cover contempla las siguientes etapas: adquisición y preparación de la información; análisis e interpretación de las coberturas; verificación de campo, control de calidad y generación de la capa temática escala 1:100.000.

Las principales ventajas de la metodología CORINE Land Cover son las siguientes:

- ✓ Permite obtener una capa de cobertura de la tierra de una manera relativamente rápida y sencilla, teniendo una de las mejores relaciones calidad-costos existente.
- ✓ Su aplicación permite la comparación de datos y porcentajes de uso y ocupación del territorio entre los países europeos y aquellos de América del Sur que lo adopten.
- ✓ Permite hacer análisis multitemporales de ocupación del territorio de una manera relativamente sencilla y rápida (en Europa este análisis se realiza cada 5 años).

2.3.3. TELEDETECCIÓN

Se considera como la observación remota de la superficie terrestre constituyendo el marco de estudio de la teledetección o también llamada percepción remota. La teledetección es una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales y su posterior tratamiento en el contexto de una determinada aplicación o finalidad. (Patiño Narvaes, 2015)

La teledetección cuenta con numerosas aplicaciones gracias a las ventajas que ofrece frente a otros medios de observación más convencionales como la fotografía aérea o los trabajos de campo, pues más que sustituirlos los complementa.

Algunas aplicaciones de esta técnica tienen que ver con el medio ambiente, los recursos naturales, actividades agrícolas y forestales, desarrollo urbano, planificación territorial, levantamientos de cobertura y uso de la tierra, análisis multitemporales de algún fenómeno en particular, entre otras.

Con respecto a la aplicación de la teledetección en los recursos naturales, se puede denotar que es un sistema basado en las radiaciones electromagnéticas que interactúan con los objetos de la superficie terrestre teniendo en cuenta que todos los elementos de la naturaleza poseen características de respuesta espectral; es entonces trabajo de la teledetección estudiar las variaciones que puedan ocurrir en las ondas electromagnéticas.

2.3.4. COBERTURA Y USO DE LA TIERRA

La Cobertura de la Tierra hace referencia a la cubierta biofísica que se observa sobre la superficie de la tierra como lo son los elementos naturales y antrópicos. El Uso de la tierra representa la ocupación que el hombre da a los diferentes tipos de cobertura, resultado de la interrelación entre los factores biofísicos y culturales de un espacio geográfico determinado.

La información precisa sobre el uso de la tierra es fundamental para la comprensión de las causas del cambio de la cobertura forestal y para el desarrollo de políticas y estrategias eficaces para frenar y revertir la pérdida de bosques.

El uso de suelo se refiere a la ocupación de un terreno determinado en función de su capacidad agrológica y por tanto de su potencial de desarrollo, se clasifica de acuerdo a su ubicación como urbano o rural, representa un elemento fundamental para el desarrollo de la ciudad y sus habitantes ya que es a partir de éstos que se conforma su estructura urbana y por tanto se define su funcionalidad (Aponte Perez & Galeano Franco, 2017)

Uso y tratamiento del suelo. La condición superficial en una cuenca hidrográfica se muestra en el uso del suelo, este se relaciona con las coberturas forestales y vegetales de la cuenca las cuales son el tipo de vegetación, los usos agrícolas, tierras en descanso, superficies impermeables y áreas urbanas, y la otra condición es el tratamiento del suelo se aplica a las prácticas mecánicas como perfilado de curvas de nivel propias del uso agrícola, y prácticas de manejo como controles de pastoreo y rotación de cultivos

Existe una diferencia entre el uso de la tierra y la cobertura de la misma aunque los dos términos se usen en conjunto y se relacionen con respecto al suelo; la cobertura es la superficie que cubre el suelo y el uso de la tierra son las actividades que se ejercen sobre el suelo.

2.3.5. RONDA HÍDRICA E INTERVENCIÓN ANTRÓPICA

Una ronda hídrica es una zona o franja de terreno que están aledañas a los cuerpos de agua y que tienen como fin permitir el normal funcionamiento de las dinámicas hidrológicas, geomorfológicas y ecosistémicas propias de dichos cuerpos de agua. (CORTOLIMA, 2017)

La ronda hídrica se compone de 3 elementos: hidrológico el cual es la zona para el flujo y almacenamiento temporal de agua; el geomorfológico que hace referencia a los procesos morfodinámicos asociados al transporte y almacenamiento temporal del agua y sedimentos; y el elemento ecosistémico el cual indica las zonas asociadas a la vegetación raráña y las funciones ecosistémicas del sistema fluvial, esta puede estar o no incluida en los elementos anteriores.

Para que exista un equilibrio del ecosistema se deben proteger las zonas inundables en el elemento hidrológico para ello, se establece una cota que se enmarca como zona de inundación o protección, según la normatividad y las entidades que rigen el manejo de los ríos y quebradas esta zona es de 30 metros a cada margen de la fuente hídrica; la parte ecosistémica indica la cobertura protectora de la ronda hídrica para que cumpla su función y albergue la fauna importante para el ecosistema presente.

La intervención o invasión antrópica hace referencia al factor de disturbio de una zona, es decir, es la acción que ejerce el humano realizando un tipo de actividad que pueda repercutir de manera directa sobre el recurso natural, tales actividades pueden ser de origen para el desarrollo económico y social de una comunidad.

La relación entre ronda hídrica e intervención antrópica hace referencia a que en las invasiones del terreno se cambian las condiciones naturales de las rondas hídricas debido a la adecuación del suelo para otros tipos de actividades permitiendo generar un cambio en la calidad del recurso natural.

2.3.6. FRAGMENTACIÓN DE BOSQUES

La fragmentación es un proceso dinámico en el que ocurre un cambio en la estructura y configuración de un determinado hábitat inicialmente dominante, el cual, va quedando reducido a parches de menor tamaño denominados fragmentos, siendo estos más o menos conectados entre sí, en una matriz de hábitat diferente al original por lo que este proceso conlleva pérdida del paisaje original, Los paisajes fragmentados pueden ser resultado de procesos naturales, como la respuesta diferencial de las especies a los gradientes ambientales, o las perturbaciones y los consecuentes procesos de sucesión, que generan mosaicos de hábitats con distintas comunidades ecológicas. (García, 2011)

Todas estas transformaciones se verán reflejadas en cambios en las condiciones ambientales como temperatura, viento y humedad debido a diferencias estructurales entre la vegetación del fragmento y la vegetación de la matriz circundante y consecuentemente por cambios en la distribución de las especies en función de su tolerancia a los efectos de borde.

Los paisajes tropicales fragmentados son cada día más comunes debido principalmente a incendios, a la remoción de bosques para agricultura o ganadería o por actividades humanas como la extracción para uso maderable o para cubrir necesidades de leña, carbón o madera para construcción y cercados. En general se acepta que las actividades agrícolas son la principal amenaza para la biodiversidad en los trópicos. (Galván Guevara, Ballud Dajud, & De La Ossa V., 2015)

2.3.7. OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL

La oferta hídrica es el volumen de agua disponible para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre.

La oferta hídrica superficial representa el volumen de agua continental que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial. Esta variable se analiza para unidades temporales anuales y mensuales en condiciones hidrológicas promedio, húmedas y año típico seco.

Cuantificar la oferta hídrica a nivel de país, región o cuenca hidrográfica es esencial y aparentemente sencillo para iniciar el proceso de análisis, solamente requiere medir la lluvia y las fuentes que abastecen dichas áreas delimitadas, a partir de observaciones diarias en sitios estratégicos o de interés que pueden ser estaciones hidrológicas y meteorológicas, y así lograr obtener la variación sistemática de los principales parámetros considerados para su análisis, en el tiempo.

2.3.8. SANEAMIENTO BÁSICO

“Saneamiento básico”, al cual llamamos “básico” por precisamente considerar las acciones mínimas que deben adoptarse en una localidad urbana o rural, para que las personas puedan vivir en un ambiente saludable. El saneamiento básico incluye:

El abastecimiento de agua para consumo humano.

El manejo y disposición final adecuada de las aguas residuales y excretas.

El manejo y disposición final adecuada de los residuos sólidos municipales.

La carencia de agua potable en cantidad, calidad, continuidad y a un costo adecuado, así como la disposición inadecuada de excretas y de residuos sólidos, además de perjudicar la calidad de vida y las condiciones de producción afectan la integridad de las cuencas hidrográficas en general y de las fuentes de agua en particular. Dicho deterioro, unido a la carencia de agua potable crean ambientes insalubres que propician las enfermedades y disminuyen la productividad de la población.

Protección de las fuentes

La protección de fuentes de agua o nacimientos es un conjunto de prácticas que se aplican para mejorar las condiciones de producción de agua en calidad y cantidad, reducir o eliminar

las posibilidades de contaminación y optimizar las condiciones de uso y manejo. Estas prácticas pueden ser:

- En el área de recogimiento de la fuente: Para aumentar la infiltración de agua en el suelo, recargar la capa freática que la sostiene y evitar la contaminación.
- En el afloramiento del agua: Para mejorar la captación y eliminar la contaminación local.
- En el uso y manejo del agua: Para evitar los desperdicios y la contaminación, tanto local como aguas abajo.

Formas de contaminación del agua

Los contaminantes tienen un impacto significativo en los problemas de calidad del agua, sin embargo, normalmente son de difícil definición y cuantificación, por ese motivo muchas veces los programas de control no los tienen en consideración adecuadamente. La forma en que se contamina el agua puede ser dos tipos:

Formas puntuales: Son las descargas en puntos definidos, como las descargas de desagües, industrias, etc. Los desagües domésticos presentan una gran cantidad de contaminantes que pueden provocar daños al ambiente, por ese motivo deben ser tratados antes de su disposición final.

Formas no puntuales: La contaminación no puntual está asociada a las aguas de lluvia, deshielo, percolación, etc. A medida que la lluvia cae, acarrea contaminantes naturales o producidos por el hombre.

Los contaminantes pueden ser:

- Relaves mineros
- Exceso de fertilizantes, herbicidas e insecticidas provenientes de usos agrícolas o domésticos;
- Aceites, grasas y contaminantes tóxicos transportados por el arrastre de agua de lluvia en zonas urbanas;
- Sedimentos provenientes de construcciones, zonas agrícolas o erosión;
- Drenaje ácido de minas abandonadas;
- Materia orgánica y microorganismos provenientes de zonas de ganadería;
- Arrastre de basura;
- Contaminantes en la atmósfera (material en partículas y otros compuestos).

2.4. MARCO AMBIENTAL

El bosque natural presente en las zonas aledañas a las microcuencas y cuencas es de gran importancia debido a que esta cobertura protege y regula el ciclo del recurso agua permitiendo que permanezca un equilibrio en su conservación y funcionamiento; así mismo, permite albergar diversos tipos de especies animales y vegetales propias de cada región.

Sin embargo, siendo el agua elemento vital de la vida diaria del hombre se utiliza en las actividades que se realizan a diario, presentándose un desequilibrio crítico entre el uso desproporcionado de este elemento y las prácticas para conservar el ecosistema presente.

Las intervenciones antrópicas en cuencas se han venido presentando a través de los años, realizando actividades comerciales y usos inadecuados de las fuentes hídricas, estas actividades (la ganadería, la agricultura, la pesca, la actividad minera, los asentamientos humanos) se ejercen en las rondas hídricas de los afluentes naturales, generando todo tipo de problemas y consecuencias, siendo uno de estos la alteración del equilibrio natural del ecosistema presente.

Estas actividades permiten que se originen efectos adversos como la pérdida de la cobertura generando grandes cambios en el suelo y por ende, desprotegiendo el cauce natural de ríos y quebradas, al existir un mal manejo del recurso se genera una contaminación y un deterioro en la calidad del agua siendo esta fuente natural de abastecimiento de acueductos; se genera una pérdida de la biodiversidad existente en las microcuencas y cuencas debido a que se ha alterado la vegetación propia del terreno y se ha invadido por medio de urbanizaciones.

Es importante tener un conocimiento actual de las coberturas existentes en las zonas de estudio y realizar una evaluación del grado de fragmentación de bosques por medio satelital para el reconocimiento y caracterización de las zonas de influencia que permite a los involucrados tener un soporte para la creación de planes de manejo y capacitación de quienes usan este recurso, además, permite conocer el estado actual para poder generar estrategias y acciones en conjunto con la comunidad permitiendo generar nuevos aprendizajes en cuanto al manejo adecuado de las quebradas y sus ecosistemas.

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

FASE 1

3.1. ANÁLISIS DE COBERTURAS

3.1.1. CAPACITACIÓN

Se realiza diversas capacitaciones al personal técnico del convenio entre las UTS y la CDMB ejercido por el autor y el director del proyecto para reforzar conocimientos acerca de conceptos básicos de la situación del área de influencia, de POMCAS, POT y su influencia con los recursos naturales.

Así mismo, se efectúan mesas de diálogos con los estudiantes de prácticas de tecnología en recursos ambientales que hacen parte del convenio abarcando temas de identificación de coberturas e imágenes satelitales.

También, se asiste a una serie de capacitaciones dirigidas por los docentes en las que personal particular y estudiantil con alto grado de conocimiento en el procesamiento de imágenes brindan refuerzos y conocimientos al autor acerca del manejo de los mismos programas, los pasos respectivos para lograr un mejor desempeño en el desarrollo del proyecto y una asesoría del mismo.

3.1.2. ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el área de influencia de las 28 microcuencas priorizadas por la corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga CDMB, las cuales se encuentran ubicadas en 13 municipios del departamento de Santander en jurisdicción de la entidad.

Tabla 7. Microcuencas en estudio

MUNICIPIO	MICROCUENCA
Bucaramanga	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Quebrada la jabonera (vijagual) ✓ Quebrada la pajulla (sector colorados) ✓ Quebrada el macho – barrios comuna 10
Floridablanca	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Quebrada aranzoque o mensuli ✓ Quebrada zapamanga ✓ Quebrada la guayana
Girón	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tramos río de oro ✓ Quebrada las nieves(casco urbano)
Piedecuesta	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Río ható ✓ Quebrada la cucharera
Lebrija	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Quebrada la angula ✓ Quebrada las raíces
Rionegro	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Quebrada churrucas o trapiche ✓ Tramos del río negro (sector ecoturístico)
El playón	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Quebrada la naranjera
Toná	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Quebrada arnania

	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Quebrada altos de Tomasa ✓ Río Jordán (Berlín)
Vetas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Quebrada san Antonio ✓ Quebrada la laguna
Surata	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Quebrada la chumbula
Matanza	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Quebrada agua buena (dulce) ✓ Quebrada las Tarazonas
Charta	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Quebrada la prensa
California	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Quebrada la baja ✓ Quebrada la venta ✓ Quebrada el tabacal

Fuente: (CDMB, 2017)

Para la ubicación del área de influencia y la obtención de la imagen satelital a utilizar se tomó un polígono global que abarcara las microcuencas mencionadas con anterioridad, no sin antes mencionar que las microcuencas: la cucharera, altos de Tomasa, san Antonio, la quebrada innominada código IGAC 6003, la prensa, tramos del río de oro y la venta no se lograron ubicar debido a diversos factores como falta de información, nombres correctos entre otros.

Sin embargo, se elabora un polígono extenso que incluye los municipios mencionados, en el que posiblemente se encuentren las quebradas resultantes. Para encontrar el área de estudio lo primero que se realiza es la ubicación de las coordenadas de cada microcuenca, las cuales son obtenidas por medio de la página del geoportal del IGAC, una vez obtenidas estas coordenadas se procede a señalarlas en el programa de Google Earth Pro, con el fin de establecer el polígono que incluyera las quebradas en estudio.

Figura 7. Polígono area de influencia



Fuente: autor

3.1.3. OBTENCIÓN DE IMAGEN SATELITAL

Se procede a descargar imágenes raster del servicio geodésico de los estados unidos USGS mediante la página <https://earthexplorer.usgs.gov>, se descargan diversidad de imágenes raster debido a que el polígono en estudio se encuentra en medio de varias secciones o escenas, se ubica entonces el área donde se encuentra el polígono y por consiguiente el satélite Landsat, para la obtención de las escenas se elige la opción Landsat 8 el cual contiene una categoría de colección de dos niveles de los cuales el nivel dos se encuentra en demanda, a partir de este se toma la opción que conlleva los sensores Operational Land Imager (OLI) y sensor infrarrojo térmico (TIRS).

Ya identificadas las escenas se procede a descargarlas, así mismo, se descargan las bandas de la 1 a la 9 en formato TIF (Tagged Image File Format); para unir las en el procesamiento de la imagen.

3.1.4. PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN

Para el procesamiento de la imagen se utiliza el programa ArcGis en el que se adecuan las capas descargadas de bandas y se acomodará la imagen al polígono seleccionado; primeramente, se abre en ArcGis las escenas para aplicarles cada banda respectiva y formar las capas requeridas.

PASO 1. Unión de bandas. Se realiza la preparación de cada una de las imágenes descargadas, uniéndose para esto las bandas espectrales, para esto se utiliza la herramienta composite bands la cual se encuentra en raster processing del catálogo; de esta manera se despliegan las bandas de la 1 a la 9, este proceso es aplicado a cada escena descargada.

PASO 2. Elaboración de mosaico. Después de realizar la unión de las capas se realiza un mosaico de imágenes en ArcGis, el cual es un proceso útil para unir imágenes raster, utilizándose la herramienta Mosaic To New Raster.

Se proceden a agregar las escenas o imágenes raster descargadas en la pestaña input raster, teniendo en cuenta que la referencia espacial para esta zona es WGS 1984 UTM Zona 18N y que los bits a utilizar se encuentran en las propiedades de la imagen siendo estos 16bits.

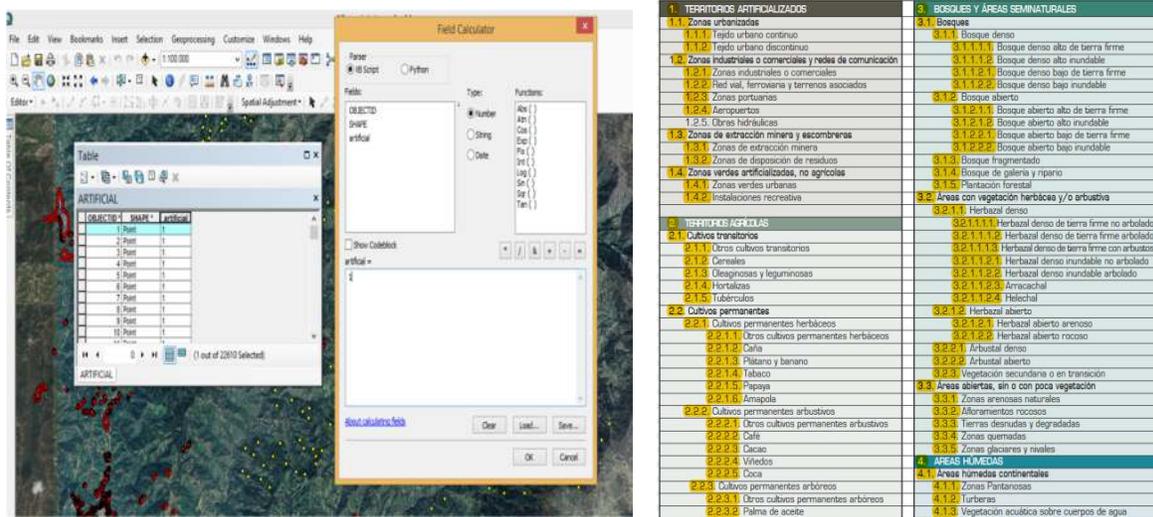
Por consiguiente, se eligen las bandas 2, 3 y 4 que corresponden a los canales azul, verde y rojo permitiéndole dar una coloración del paisaje natural. También se utilizó la herramienta copy para remover el borde que traen las imágenes de descarga.

PASO 3. Recorte de área de estudio. Una vez obtenida la imagen unida de las dos escenas, se realiza un corte que represente el polígono en estudio; para obtener el área de estudio se elabora un shapefile en el que se realiza nuevamente el polígono, el cual se recorta con la herramienta **clip** de raster processing.

3.1.5. IDENTIFICACIÓN DE COBERTURAS

Para realizar el análisis de coberturas presentes en la zona de estudio se utilizó la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia; la identificación de coberturas se desarrolla mediante una clasificación supervisada en la que con puntos se señalan zonas que serán identificadas con ayuda de la tabla de unidades de coberturas (señaladas en la imagen con color amarillo) del documento elaborado por el IDEAM, (IDEAM, 2010), se procede a ubicar los valores asociados a las coberturas visibles.

Figura 8. Clasificación supervisada

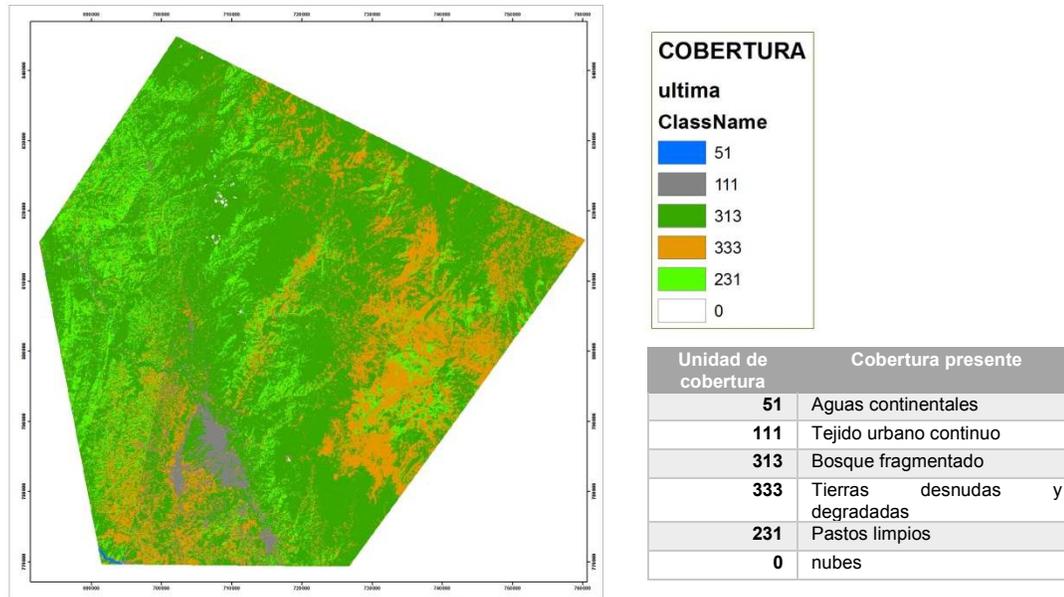


Fuente: propia

Luego de ubicados los puntos, se utiliza la herramienta create signatures de spatial analyst tools, con el fin de obtener las firmas espectrales de cada clase que se asignó, siendo en este caso 6 clases de coberturas encontradas; por consiguiente, se obtiene la imagen con las coberturas definidas mediante la herramienta maximum likelihood classification, se clasificaron y se interpretaron mediante colores que permitan una visualización clara del área de estudio.

Figura 9. Cobertura de tierra

CLASIFICACIÓN COBERTURA DE TIERRA



Fuente: autor

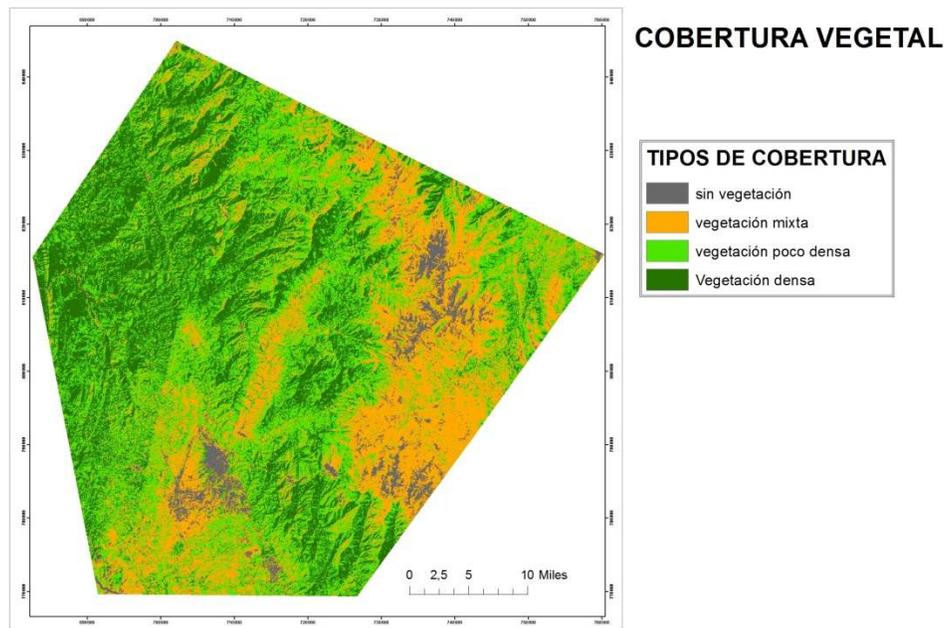
Se encontraron las coberturas anteriormente mencionadas las cuales son explicadas en la leyenda nacional de coberturas de tierra adaptada para Colombia (IDEAM, 2010) de la siguiente manera:

- ✓ **Tejido urbano continuo:** Son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente cubren más de 80% de la superficie del terreno. La vegetación y el suelo desnudo representan una baja proporción del área del tejido urbano.
- ✓ **Pastos limpios:** Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%; la realización de prácticas de manejo (limpieza, enclamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas. Su desarrollo es condicionado principalmente a las prácticas de manejo utilizadas según el nivel tecnológico disponible o las costumbres de cada región.
- ✓ **Bosque fragmentado:** Comprende los territorios cubiertos por bosques naturales densos o abiertos cuya continuidad horizontal está afectada por la inclusión de otros tipos de coberturas como pasto, cultivos o vegetación en transición, las cuales deben representar entre 5% y 30% del área total de la unidad de bosque natural. La distancia entre fragmentos de intervención no debe ser mayor a 250 metros.

- ✓ **Tierras desnudas y degradadas:** Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema y/o condiciones climáticas extremas. Se incluyen las áreas donde se presentan tierras salinizadas, en proceso de desertificación o con intensos procesos de erosión que pueden llegar hasta la formación de cárcavas.
- ✓ **Aguas continentales:** Son cuerpos de aguas permanentes, intermitentes y estacionales que comprenden lagos, lagunas, ciénagas, depósitos y estanques naturales o artificiales de agua dulce (no salina), embalses y cuerpos de agua en movimiento, como los ríos y canales.
- ✓ **Nubes:** no se encuentran dentro del contenido de la leyenda, sin embargo, se tomaron en cuenta debido a que ocupan una pequeña extensión de área dentro de la zona de estudio.

Seguidamente, se desarrolla un análisis NDVI que permite identificar la cobertura vegetal presente en el área de influencia, la cual es de importancia al momento de realizar un estudio de fragmentación de los bosques; el análisis de NDVI se ejecuta al realizar un cálculo en el sistema restando la banda 4 a la banda 5 y dividiéndola en la suma entre las dos bandas; se evidencian entonces las siguientes coberturas vegetales las cuales se clasifican por medio de diversa coloración representativa:

Figura 10. NDVI



Fuente: autor

3.1.6. CÁLCULO DE ÁREAS EN LA ZONA DE ESTUDIO

Posteriormente ya identificados los tipos de cobertura presentes en la zona de estudio, se procede a realizar diversos cálculos (área en metros, hectáreas y porcentaje), que permitan identificar los valores que representan cada cobertura encontrada, inicialmente se calculan los valores en la capa de coberturas de tierra y luego del NDVI mediante el mismo programa ArcGis.

Para realizar este proceso se toma en cuenta la columna count en la tabla de atributos, la cual indica el número de pixeles encontrados por cada cobertura, estos fueron establecidos automáticamente una vez señaladas las firmas espectrales.

Los datos a calcular se efectúan en la misma tabla de atributos de la capa elaborada ingresando las columnas específicas para los valores a obtener; teniendo en cuenta que un pixel equivale a 900 m^2 se toma como referencia este dato ingresándolo en field calculator para obtener el valor del área en m^2 ; así mismo, se realiza nuevamente el procedimiento para convertir el área en hectáreas (ha).

Una vez obtenida el área en hectáreas se repite el procedimiento de cálculo para hallar el porcentaje de cada cobertura; con el porcentaje hallado se procede a analizar el estado del área de estudio general en cuanto a cómo se encuentra actualmente.

En las tablas 8 y 9 se demuestran los datos o atributos realizados mediante el programa ArcGis para la obtención de los cálculos.

Tabla 8. Cálculos de coberturas de tierra

AREA Y PORCENTAJE DE COBERTURAS DE TIERRA					
VALUE	COUNT	CLASSNAME	AREA_MT	AREA_HA	PORCENTAJE
1	6313	51	5681700	568,17	0,151358
2	136079	111	122471100	12247,11	3,262584
3	2695885	313	2426296500	242629,65	64,635632
4	828069	333	745262100	74526,21	19,853504
5	497225	231	447502500	44750,25	11,921299
6	7325	0	6592500	659,25	0,175622
TOTAL (ha)				375380,64	

Fuente: autor

Tabla 9. Cálculos cobertura vegetal (NDVI)

AREA Y PORCENTAJE COBERTURA VEGETAL (NDVI)				
VALUE	COUNT	AREA_MT	AREA_HA	PORCENTAJE
1	201055	180949500	18094,95	4,820427074
2	1193918	1074526200	107452,62	28,6249765
3	1569799	1412819100	141281,91	37,63697297

	4	1206124	1085511600	108551,16	28,91762346
TOTAL (ha)				375380,64	

Fuente: autor

3.1.7. IDENTIFICACIÓN FUENTES HÍDRICAS

Para la identificación de fuentes hídricas se utilizan las herramientas de la pestaña hydrology de spatial analyst tools; se realiza primeramente un DEM el cual permite delinear las cuencas hidrográficas, luego un fill, el cual elimina huecos o sumideros presentes en el DEM para determinar la acumulación y dirección de flujo de las fuentes de agua, por consiguiente, se realiza un raster con la herramienta raster calculator ubicando un valor de 50 como condición para que se generen redes de menor orden las cuales representan las microcuencas en estudio, se acomoda a la capa la red generada y se convierte a polyline.

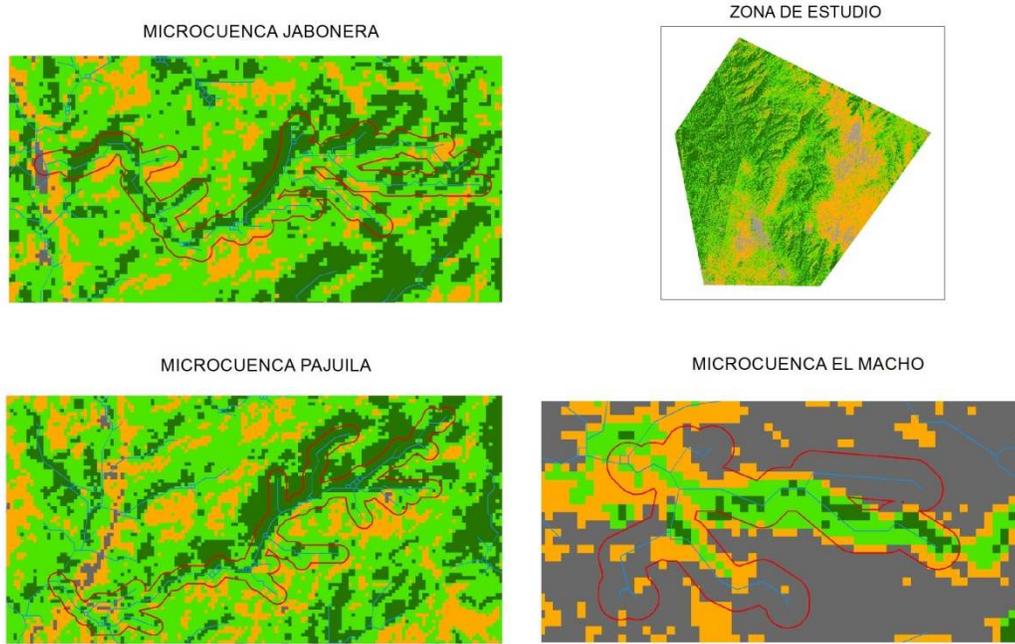
3.1.8. ÁREA DE INFLUENCIA DE MICROCUENCAS

Se desarrollan áreas de influencia de cada microcuenca mediante la herramienta buffer de Geoprocessing, la cual permite generar un área de influencia de cierta cantidad de metros al margen derecho, izquierdo o ambos lados de la fuente hídrica.

Para cada microcuenca identificada se elaboró un buffer de 80 metros a ambos lados de la fuente hídrica, se elige ese valor debido al posible margen de error que se pueda presentar en cuanto a si el raster de redes concuerda totalmente con la imagen o capa a utilizar, es así como se genera un área de influencia contenida en un polígono para cada microcuenca teniendo en cuenta que en unas no se tomaron las segundas redes que conectaban con la quebrada identificada debido a que se conectaban con otras de mayor extensión o que pertenecen al estudio.

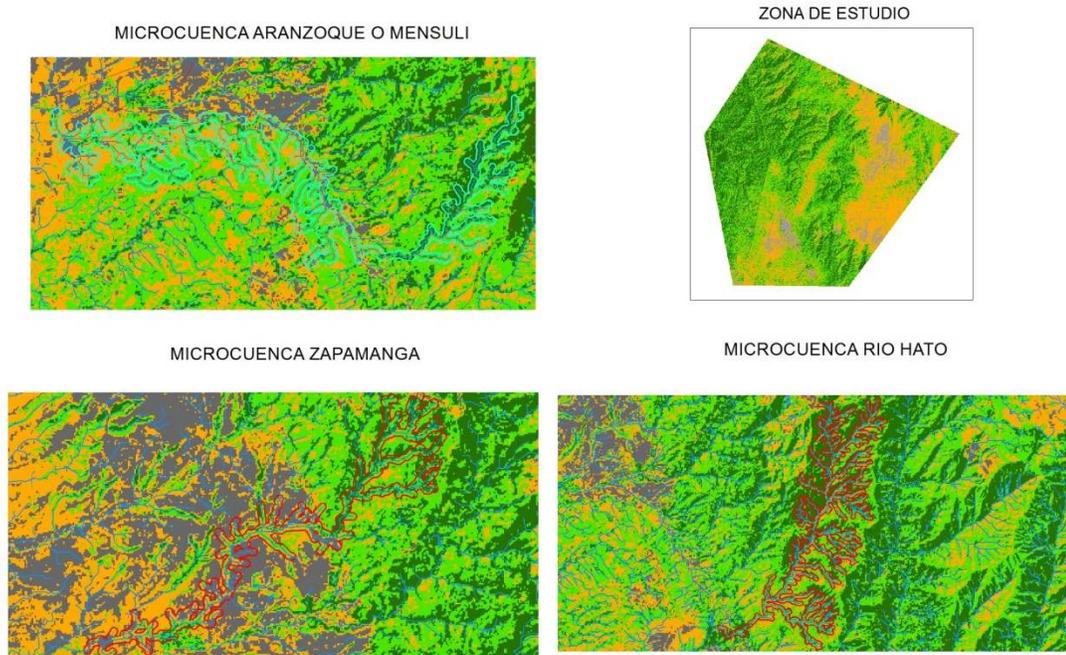
A continuación, se presentan las áreas de influencia de cada microcuenca encontrada denotadas mediante una línea roja; en el caso de la microcuenca aranzoque, la línea que la denota representa un color azul:

Figura 11. Áreas de influencia Bucaramanga



Fuente: autor

Figura 12. Áreas de influencia Floridablanca y microcuenca río Hato (Piedecuesta)



Fuente: autor

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

FASE 2

3.2. ESTADO DE FRAGMENTACIÓN

Para realizar el análisis del estado de fragmentación de los bosques naturales se tomó como referencia en el proceso la metodología expuesta en el análisis del estado de fragmentación en los bosques de Tolima- Colombia elaborado por (Lozano Botache, Gómez Aguilar, & Valderrama Chaves, 2011), así mismo, se tuvieron en cuenta los métodos de patton, vogelmann elaborados y explicados en diversos artículos que abarcan temas de fragmentación de paisajes.

Para realizar el estudio de fragmentación se tomó como referencia la capa de NDVI realizada, especificándose únicamente en la vegetación densa para la elaboración de los cálculos; se seleccionó cada buffer de las microcuencas y con la herramienta measure se realizó la medición de cada parche en forma de measure an área y teniendo en cuenta la medición de área en metros; con esta información, se toma el área en m^2 y el perímetro en (m) para realizar los cálculos respectivos en Excel, siendo parte del análisis de clasificación supervisada.

3.3. CÁLCULOS BASADOS EN ÁREA

Según la metodología expuesta en el marco teórico del presente trabajo los índices de área que se denotan son:

3.3.1. ÍNDICE DE DIVERSIDAD DE FORMA DE PATTON (D.I.).

Para calcular este dato se requirió el área (m^2), y el perímetro medido de cada fragmento (m). Estos datos son los primeros en ser tomados una vez se mide con la herramienta measure de ArcGis. Se reemplazan los datos en la fórmula presentada con anterioridad en el proyecto y el resultado es analizado según una tabla de valores (ver tabla 2) que indica de qué forma es el parche medido.

3.3.2. ÍNDICE DE COMPACTACIÓN.

Se realizaron los cálculos utilizando los valores obtenidos del índice de forma, el cual es dividido por uno; siendo un índice característico del grado de fragilidad que tienen los parches ante la matriz (actividad del hombre, cambios de paisaje).

Se ubican los datos para cada microcuenca según las mediciones de cada parche realizado en cuanto a área y perímetro, se procede a llenar las columnas de índice de forma y compactación de acuerdo a las fórmulas planteadas.

A continuación, se presenta la elaboración de las tablas utilizando la microcuenca la jabonera para demostrar el procedimiento ejercido con cada área de influencia:

Tabla 10. Demostración procedimiento cálculos índice de área.

Microcuenca la jabonera					
N. PARCHES	PERÍMETRO M	ÁREA PARCHES M2	DI	FORMA	IND. COMPACTA
1	2.411,153	65.413,784	2,66	amorfo o irregular	0,38
2	1.765,696	35.569,309	2,64	amorfo o irregular	0,38
3	119,936	899,038	1,13	redondo	0,89
4	886,492	16.531,013	1,95	rectangular	0,51
5	180,122217	1.802,74	1,20	redondo	0,84
6	480,365431	6.303,78	1,71	oval oblongo	0,59
7	1.513,48	27.948,43	2,55	amorfo o irregular	0,39
8	3.342,93	114.616,70	2,79	amorfo o irregular	0,36
9	180,122217	1.802,74	1,20	redondo	0,84
10	119,936	899,038	1,13	redondo	0,89
11	119,936	899,038	1,13	redondo	0,89
12	119,936	899,038	1,13	redondo	0,89
13	867,111534	12.455,84	2,19	amorfo o irregular	0,46
14	285,98326	3.431,85	1,38	oval-redondo	0,73
15	119,936	899,038	1,13	redondo	0,89
16	119,936	899,038	1,13	redondo	0,89
17	337,409393	3.456,64	1,62	oval oblongo	0,62
18	295,050845	2.448,15	1,68	oval oblongo	0,59
19	279,329154	2.869,66	1,47	oval-redondo	0,68
20	619,64544	13.594,22	1,50	oval oblongo	0,67
21	346,719099	5.074,50	1,37	oval-redondo	0,73
22	996,612181	20.659,99	1,96	rectangular	0,51
23	233,137006	1.712,64	1,59	oval oblongo	0,63
24	260,515704	3.011,12	1,34	oval-redondo	0,75
25	2.433,62	48.075,55	3,13	amorfo o irregular	0,32
26	119,936	899,038	1,13	redondo	0,89
27	551,377514	8.488,39	1,69	oval oblongo	0,59
28	2.245,01	75.097,97	2,31	amorfo o irregular	0,43
29	94,18312	420,894491	1,30	oval-redondo	0,77
30	180,122217	1.802,74	1,20	redondo	0,84
31	523,466501	6.590,63	1,82	rectangular	0,55
32	119,936	899,038	1,13	redondo	0,89
TOTAL	22.269,152	486.371,588			

Fuente: autor

Se aplicó el mismo procedimiento para cada microcuenca (ver anexo); resumiendo los índices calculados que se desarrollaron se demuestra en la siguiente tabla un conteo general de los datos:

Tabla 11. Resumen, datos de microcuencas de los municipios Bucaramanga, Floridablanca y microcuenca rio hato de Piedecuesta.

cantidad de fragmentos de índice de forma						
forma	Bucaramanga			Floridablanca		Piedecuesta
	jabonera	pajuela	el macho	aranzoque	zapamanga	rio hato
redondo	11	14	1	74	41	76
oval-redondo	5	14	0	38	12	50
oval oblongo	6	2	4	25	14	26
rectangular	3	0	1	14	6	12
amorfo o irregular	7	2	1	17	13	41
TOTAL	32	32	7	168	86	205
cantidad de índices de compactación						
Ind compact						
>0,5	7	2	1	16	12	41
<0,5	25	30	6	152	74	164
sumatoria de áreas y perímetros de los parches						
perímetro total (m)	22.269,152	20922,154	2940,54	81530,845	61147,923	206043,91
área total (m2)	486.371,588	613.133,51	36982,2	1619229,3	1353386,7	6029819,4

Fuente: autor

Se obtiene entonces datos que serán necesarios para calcular los índices basados en sistemas de información geográfica (SIG) como lo es área, perímetro y número de parches.

3.4. CÁLCULOS BASADOS EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).

Se desarrollan los cálculos basados en SIG los cuales permiten obtener información acerca de cómo se encuentra el bosque en cuanto a fragmentación basándose en los índices de:

3.4.1. CONTINUIDAD ESPACIAL.

Para hallar el valor de continuidad espacial de los parches de manera general de una microcuenca se utilizó la fórmula establecida en el marco teórico como FCI, que incluye las

sumatorias de área y perímetro con el fin de observar la discontinuidad del bosque por alteraciones mediante el análisis de valores altos y bajos.

3.4.2. DISTANCIA MEDIA AL FRAGMENTO VECINO MÁS CERCANO (MNN).

Se calculó mediante la herramienta measure y measure line de ArcGis, la cual funciona como una regla que permite medir la distancia entre los fragmentos más cercanos y significativos del área de influencia; se mide desde el borde del fragmento hasta el borde del fragmento vecino más cercano. Permite realizar un análisis de que tan separados se encuentran los parches debido al aumento de la matriz utilizando como valor de referencia un condicional ($MNN \geq 0$)

3.4.3. GRADO DE FRAGMENTACIÓN.

Para hallar el grado de fragmentación se aplicó la fórmula $F = (\text{área de bosque (ha)}) / (\text{área total (ha)})$, teniendo en cuenta que el área de bosque hace referencia a la sumatoria de los parches y el área total hace referencia al polígono generado como área de influencia; una vez obtenido el valor se asocia a la tabla indicadora (ver tabla 3) de cómo se encuentra la microcuenca.

3.4.4. DENSIDAD DE PARCHES.

La densidad de parches se calcula multiplicando el número de parches por 1000 que equivale a mil hectáreas y dividiéndolo en la sumatoria del área total de parches en (ha).

$$DP = \frac{N. \text{parches} * 1000}{\text{area total de parches (ha)}}$$

Este dato permite generar una idea de cómo puede ser la distribución espacial en un área de 10 km^2 , permitiendo generar un análisis que involucre los datos calculados.

Tabla 12. Datos para aplicar en cálculos de SIG

ID	microcuenca	numero de parches	perímetro total parche (m)	suma área total parche (m2)	área total parche (ha)	área total polígono (ha)
1	jabonera	32	22.269	486.372	48637	134,0981
2	pajuila	32	20922,15354	613133,5055	61313	148,6719
3	el macho	7	2940,535513	36.982,22	3698	51,4997
4	aranzoque o mensuli	170	81530,84543	1619229,309	161923	897,0178
5	zapamanga	86	61147,92287	1353386,669	135339	568,6226
6	rio hato	205	206043,9089	6029819,36	602982	1266,1997

Fuente: autor

Tabla 13. Cálculos basados en SIG.

MICROCUENCA	FCI	GRADO FRAGMENTACIÓN (F)	DENSIDAD	MNN	
jabonera	3,0838	0,36	INSULARIZADO	0,66	10,313
pajuila	3,3778	0,41	INSULARIZADO	0,52	8,659
el macho	2,5318	0,07	INSULARIZADO	1,89	17,143
aranzoque o mensuli	2,9887	0,18	INSULARIZADO	1,04	4,641
zapamanga	3,0971	0,24	INSULARIZADO	0,64	9,010
rio hato	3,3764	0,48	INSULARIZADO	0,34	5,949

Fuente: autor

Para los valores de distancia media al fragmento vecino más cercano enfocándose en valores de distancia máxima, distancia mínima y promedio permitiendo un análisis de la fragmentación de la zona y sus consecuencias.

FASE 3

3.5. IMPACTOS AMBIENTALES

Para realizar el análisis por medio de la metodología Batelle Columbus se tomó en cuenta solo la sección de la metodología en la que se realiza el cálculo del índice de calidad ambiental que permitió realizar una valoración de la transformación del paisaje por la pérdida de bosque y fragmentación de la misma.

Para esto se tuvo en cuenta los valores obtenidos de cada índice calculado basados en área y SIG, los cuales funcionan como un modelo de impacto ambiental, observándose como se encuentra el área de influencia, analizando el impacto que ocasiona en la biodiversidad el hecho de generarse fragmentos o discontinuidad de bosque, los impactos ambientales a especies vegetales, al suelo, siendo estos dirigidos principalmente por la acción antrópica y generando efectos de borde.

Estos modelos obtenidos se utilizaron para evaluar la calidad ambiental de los parámetros de: vegetación natural, uso del suelo, diversidad de especies, erosión; mediante el uso de graficas de transformación de paisaje para obtener los valores que indiquen en qué situación se encuentran los bosques para luego ubicar los datos en la tabla de valoración como: con proyecto (CP); teniendo en cuenta que la valoración: sin proyecto indica un paisaje en condiciones óptimas.

Para la elaboración de las gráficas, se utilizó la escala de puntuación de 0 y 1 como posición para identificar la calidad ambiental del terreno estableciendo los valores intermedios teniendo presente los Criterios de calidad ambiental:

- ✓ Óptimo: el valor de 1 indica una mejor calidad ambiental.

- ✓ Pésimo: el valor 0 representa una transformación negativa en la calidad ambiental.

3.5.1. OBTENCIÓN DE VALORES DE CALIDAD AMBIENTAL

Para la obtención de los valores de calidad ambiental por cada modelo o índice desarrollado se elabora una gráfica en la que se demuestra la tendencia o comportamiento de cada índice con respecto al parámetro a evaluar, se realiza una recta o línea base para identificar el valor obtenido en cada modelo y hallar el valor de CA siendo perpendicular a la línea directriz.

Este procedimiento se aplica a todas las microcuencas, con el fin de observar la calidad ambiental ante un parámetro en específico; para el índice basado en áreas se le aplica el procedimiento a cada dato obtenido de los fragmentos encontrados, generando una tabla de valores de calidad ambiental por cada microcuenca a los cuales se les halla el promedio o media aritmética para los respectivos cálculos de evaluación del impacto; los índices basados en SIG son realizados directamente con un solo valor de C.A. por evaluar.

3.5.2. MATRIZ BATELLE COLUMBUS

Se desarrolla la matriz de evaluación del impacto la cual permitirá observar el cambio presentado en cada microcuenca, denominado cambio neto. Esta matriz se elabora de acuerdo a la tabla 5 presentada en el documento, en donde se ubican los parámetros elegidos para su respectivo análisis, por consiguiente, en la sección de calidad ambiental, la casilla: *sin proyecto* hace referencia a los valores de calidad ambiental óptimos, siendo considerado el valor de 1; la casilla: *con proyecto* indica el valor obtenido de calidad ambiental anteriormente hallado mediante las gráficas.

En la sección, valoración en unidades de impacto ambiental, la casilla: *sin proyecto* hace referencia a la ponderación o los valores de UIP presentados en la metodología para cada parámetro; la casilla: *con proyecto* indica el UIA y el cambio neto es la evaluación final del método.

3.5.3. CALCULO UNIDADES DE IMPACTO

Se aplicó la ecuación establecida en el método de Batelle Columbus para convertir los valores inconmensurables en valores conmensurables que describan la situación en que se encuentra actualmente el impacto ambiental con relación a los valores UIP presentados en la tabla de distribución de indicadores de impacto (ver figura 5).

En la ecuación a desarrollar $(UIA) = (CA)_i \times (UIP)_i$, el valor de UIA a identificar se ubica en la casilla: *con proyecto* correspondiente a la sección de valoración en unidades de impacto ambiental.

3.5.4. CÁLCULO VARIANZA, COVARIANZA Y CORRELACIÓN

Se realizó el cálculo de varianza, covarianza y correlación en los índices o modelos basados en áreas: índice de forma de Patton e índice de compactación debido a la cantidad de datos

obtenidos para cada fragmento, con el fin de verificar los resultados de acuerdo a la tabla de valoración de correlación.

Para el cálculo de varianza se utilizó la fórmula: $S^2 = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n}$ donde: S^2 = varianza, x: valor variable muestra, \bar{x} : valor promedio; n: total (fragmentos). Teniendo presente que la varianza mide la dispersión que representa la variabilidad entre los valores de la serie de datos respecto a su media. $S^2 > 0$ en la mayoría de los casos indicando que entre más cercanos estén de cero, la medida de dispersión será mínima o no existe dispersión.

Para el cálculo de la covarianza se utilizó la fórmula: $Cov = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{n}$

Donde $\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})$ hace referencia a la sumatoria de la multiplicación de la columna $(x-\bar{x})$ y $(y-\bar{y})$; \bar{x} y la variable \bar{y} indican el promedio de cada columna y n hace referencia a la cantidad de datos o fragmentos.

La correlación permite observar que tan fuerte es el grado de relación observando el cambio de la variable independiente ante una variable dependiente; con el fin de hallar la correlación, se utilizó la fórmula: $r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2} * \sqrt{\sum(y-\bar{y})^2}}$

El resultado de estos valores se interpretó de la siguiente manera:

$r > 0$ hay dependencia positiva y su relación es directa.
 $r < 0$ son negativos y su relación es inversa.

Además, se demuestra la función de cada microcuencia con el fin de dar la recta $y=ax+b$ Teniendo presente que:

$$a = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad b = \frac{\sum y - a \sum x}{n}$$

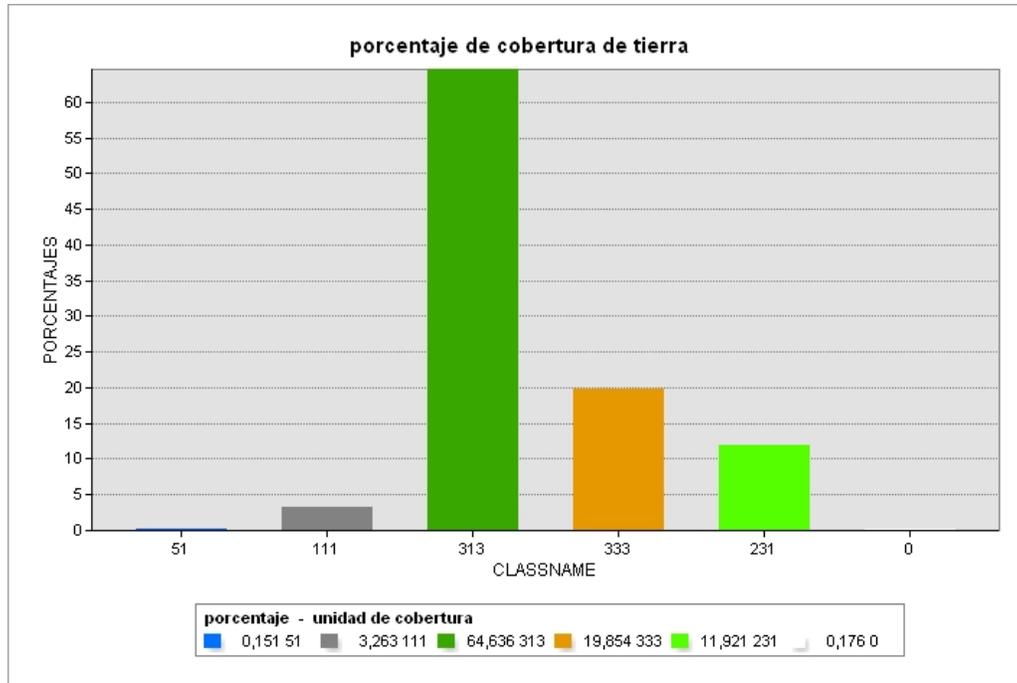
4. RESULTADOS

4.1. INTERPRETACIÓN DE COBERTURAS

4.1.1. COBERTURA DE TIERRA

En la siguiente grafica se puede evidenciar el tipo de cobertura que representó mayor área en porcentaje con respecto a la zona de estudio, la unidad de cobertura 313 (bosque fragmentado) se encuentra en mayor magnitud con un 64,6%, siendo este el punto inicial en el análisis para evidenciar como se encuentra este tipo de cobertura y que consecuencias presenta su incremento.

Figura 13. porcentaje representativo cobertura de la tierra



Fuente: autor

Al presentarse un aumento del área de bosques fragmentados y una intervención por parte de la matriz se generará un incremento en la generación de parches cada vez de menor tamaño aislándose entre sí y como consecuencia generando un cambio en la vegetación disminuyendo especies de plantas e incluso extinguiéndolas al tiempo que se ingresan nuevas especies que resultan ser invasoras y que generan un cambio en la abundancia y distribución de las mismas.

Se observa que la segunda área con mayor porcentaje es la 333 la cual representa zonas de tierras desnudas y degradadas, esta seguirá aumentando a medida que se presente una degradación de bosque por actividades ya sean de cultivos, ganadería, minería, intervención antrópica por asentamientos debido a que aumenta cada vez la matriz y se genera un cambio en el recurso suelo donde ocurre una salinización por el uso inadecuado y el riego excesivo.

En el análisis de la zona de estudio en general, es decir el polígono de área de estudio, si se compara a nivel de territorio artificializado y territorio natural se observa que se obtiene un 97% de territorio natural y un 3% artificial debido a que el polígono que involucró todas las microcuencas abarcó un área extensa.

4.1.2. COBERTURA VEGETAL

Se observa en la gráfica que la cobertura vegetal que predomina es la vegetación poco densa, se evidencia que la vegetación densa y mixta abarcan casi las mismas hectáreas contribuyendo al análisis realizado en las coberturas de tierra, en el que se identifican a los bosques densos como núcleos de bosque natural que han sido fragmentados ya sea por eventos antrópicos o naturales, debido a este fenómeno se evidencia en mayor número la vegetación poco densa, siendo está representada por arbustos.

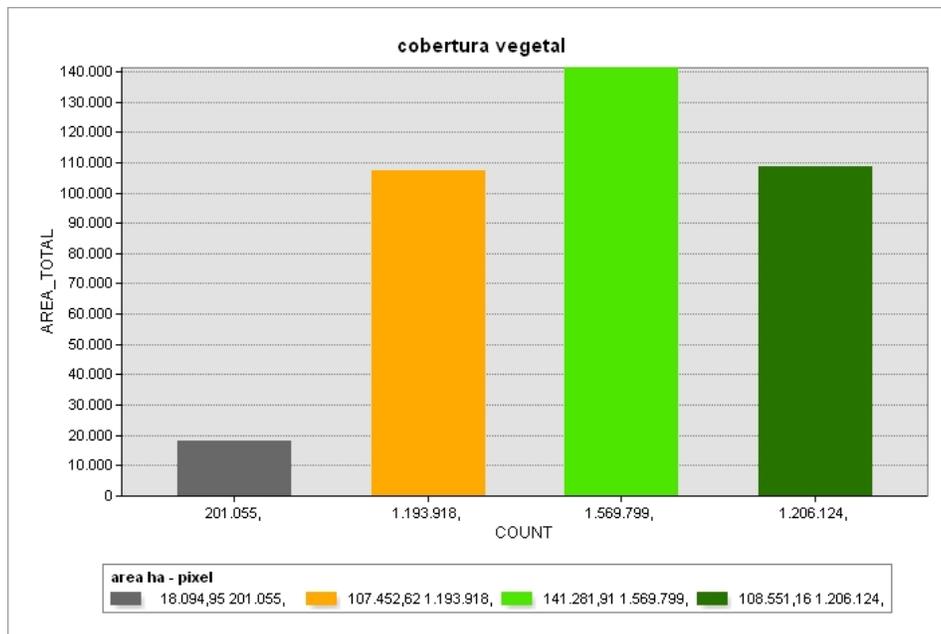
Según los cálculos realizados se obtuvieron los siguientes porcentajes:

Tabla 14. Porcentaje de cobertura vegetal

Tipo de vegetación	porcentaje
Sin vegetación	4,82%
Vegetación mixta	28,62%
Vegetación poco densa	37,64%
Vegetación densa	28,92%

Fuente: autor

Figura 14. Análisis área total (ha) de vegetación.



Fuente: autor

4.2. INTERPRETACIÓN FRAGMENTACIÓN DE BOSQUES

4.2.1. CÁLCULO ÍNDICE DE FORMAS DE PATTON

Se evaluaron cada uno de los fragmentos pertenecientes a cada área de influencia de las microcuencas en estudio realizando mediciones para obtener las formas respectivas de cada parche.

A continuación, se presenta una tabla de porcentajes que permite identificar la distribución de las diversas formas de fragmento encontradas en cada quebrada.

Tabla 15. Calculo porcentaje de formas de Patton.

Microcuenca	redondo	oval-redondo	oval oblongo	rectangular	irregular
jabonera	34	16	19	9	22
pajuela	44	44	6	0	6
macho	14	0	57	14	14
aranzoque	44	23	15	8	10
zapamanga	48	14	16	7	15
rio ható	37	24	13	6	20

Fuente: autor

Analizando los valores obtenidos a nivel individual en la microcuenca jabonera predominan parches en forma redonda con un 34% evidenciándose una separación significativa de los demás parches, sin tener en cuenta la magnitud del mismo; en la quebrada Pajuela se encuentran parches en mayor número redondo y oval- redondo con un porcentaje de 44% para ambos casos; en la quebrada el macho predominaron parches con forma oval oblonga con un 57% y en las microcuencas Aranzoque, Zapamanga y rio Hato predominaron formas redondas.

Sin embargo, según los datos encontrados, en la microcuenca jabonera y el macho se presenta un aumento en la fragmentación rectangular la cual es la forma más propensa para la propagación de fragmentos irregulares debido a que por su forma tiene más probabilidad de ser reducido el fragmento a causa del aumento de la matriz que rodea el parche.

4.2.2. CÁLCULO ÍNDICE DE COMPACTACIÓN

Teniendo presente que este cálculo se realiza para observar la fragilidad del parche se realiza un porcentaje de los valores cercanos a cero y los valores cercanos a 1 con el fin de identificar que tanto se encuentra expuesta una microcuenca a factores negativos provenientes de la matriz.

Tabla 16. Porcentaje índice de compactación.

microcuena	valores >0,5	valores <0,5
jabonera	22	78
pajuila	6	94
macho	14	86
aranzoque	10	90
zapamanga	14	86
rio hato	20	80

Fuente: autor

Los datos >0,5 indican fragilidad del parche a efectos de intervención y extinción por parte de la matriz ya sea en especies de fauna y flora propias del bosque presente en cada microcuena; mientras que los datos <0,5 indican poca fragilidad debido a que presentan formas más compactas que permiten que la matriz presente mayor dificultad de intervención por la densidad del bosque.

Estos valores también pueden ser evaluados directamente del porcentaje obtenido en el índice de forma, denominando las formas amorfas o irregulares como parches con mayor riesgo de alteración.

Las formas irregulares permiten un mayor efecto de borde en cuanto al área y perímetro que ocupan, debido a que la matriz al tener mayor capacidad de influencia genera bordes graduales cada vez más extensos, estos bordes limitarán la distribución de las especies debido a que su ecosistema se reduce.

Esto sucede con las microcuenas, al presentarse un cambio de la cobertura vegetal que protege las rondas hídricas, recurso por el cual muchas especies de fauna se guían para su distribución se genera una alteración del hábitat y se obtienen consecuencias como la pérdida de especies, disminución en su reproducción, el desplazamiento de las mismas en zonas ya modificadas por acción antrópica generando problemas en las comunidades.

4.2.3. CÁLCULO ÍNDICE DE CONTINUIDAD DE VOGELMANN

El cálculo permitió analizar la continuidad de parches, es decir que tan extenso puede ser un fragmento para garantizar la supervivencia de especies vegetales, sus continuos procesos y la continuidad en la reproducción de la biodiversidad siendo el cálculo esencial debido a que de este depende si una especie puede adaptarse a los cambios del ecosistema o simplemente tiende a extinguirse por falta de espacio del hábitat.

Tabla 17. Índice de continuidad de vogelmann

MICROCUENCA	suma área total parche (m ²)	FCI
jabonera	486.372	3,0838
pajuila	613133,506	3,3778
el macho	36.982,22	2,5318
aranzoque o mensuli	1619229,31	2,9887
zapamanga	1353386,67	3,0971
rio ható	6029819,36	3,3764

Fuente: autor

Teniendo presente que el análisis se realizó en una escala logarítmica en el que se evidencia que son valores con una discontinuidad intermedia, es decir que puede presentar pérdidas de biodiversidad debido a que la extensión del fragmento no abarca un terreno amplio, por tal motivo es importante ejercer un programa de conectividad entre parches por medio de una reforestación para reducir el riesgo de fauna ante una posible disminución o pérdida de cobertura en el área de influencia como lo son las riberas.

4.2.4. CÁLCULO DE LA DISTANCIA MEDIA AL FRAGMENTO VECINO MÁS CERCANO (MNN)

Se realizó la medición de las distancias entre los fragmentos representativos que se encontraban más cercanos para evidenciar que cada vez se presenta una fragmentación y separación de bosque en aumento, indicando un aislamiento de especies.

Tabla 18. Distancia entre fragmentos cercanos.

microcuenca	L. máxima	L. mínima	L. promedio	MNN
jabonera	90,000	30,000	41,250	10,313
pajuila	67,082	30,000	46,181	8,659
el macho	60,000	30,000	40,000	17,143
aranzoque	94,869	30,000	35,442	4,641
zapamanga	90,000	30,000	43,048	9,010
rio ható	67,082	30,000	38,110	5,949

Fuente: Autor

La distancia mínima evidenciada es igual en cada caso debido a que el estudio es elaborado en pixeles, algo parecido sucede con la longitud máxima, sin embargo, en este si se observan algunas diferencias de valores; el valor de MNN obtenido indica que las microcuencas la jabonera y el macho presentan una separación de fragmentos de mayor

magnitud, siguiendo en secuencia las microcuencas Zapamanga, Pajuila, el rio Hato y la microcuenca Aranzoque.

4.2.5. CÁLCULO DEL GRADO DE FRAGMENTACIÓN

Teniendo presente que la insularización hace referencia a los procesos de aislamiento geográfico que se presentan en una zona determinada en donde se encuentran uno o más ecosistemas.

Tabla 19. Grado de fragmentación

MICROCUENCA	GRADO FRAGMENTACIÓN (F)	
jabonera	0,36	INSULARIZADO
pajuila	0,41	INSULARIZADO
el macho	0,07	INSULARIZADO
aranzoque o mensuli	0,18	INSULARIZADO
zapamanga	0,24	INSULARIZADO
rio hato	0,48	INSULARIZADO

Fuente: autor

Se obtiene que el grado de fragmentación de todas las microcuencas no sobrepasa el 0,5 como representación de una alta fragmentación, sin embargo se presenta un nivel de insularización el cual indica que son áreas en donde ya hay presencia de fragmentación de parches y de aislamiento de especies que puede ir aumentando a medida que estos fragmentos obtienen una forma más irregular o alargada; es importante entonces tomar medidas de control para evitar que se aumenten las zonas de deforestación en las riberas de los ríos con el fin de disminuir la problemática de pérdida de fauna y flora y consecuencias en la textura de los suelos debido a que estos son importantes reguladores del ecosistema presente.

4.2.6. DENSIDAD DE PARCHE

Tabla 20. Densidad de parches

MICROCUENCA	DENSIDAD
jabonera	0,66
pajuila	0,52
el macho	1,89
aranzoque o mensuli	1,05
zapamanga	0,64
rio hato	0,34

Fuente: autor

En la anterior tabla se observan valores representativos de la densidad de los parches o fragmentos, indicando y respaldando los índices anteriores en cuanto a que el grado de fragmentación no es extenso evidenciándose que son zonas que aun presentan conectividad ecológica debido a que se demuestra una distribución espacial.

4.3. EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.

4.3.1. GRÁFICAS Y VALORES DE TRANSFORMACIÓN-CALIDAD AMBIENTAL.

Se elaboraron las respectivas gráficas que indican la tendencia de los modelos ante un parámetro específico las cuales fueron aplicadas para encontrar la calidad ambiental respectiva que es perpendicular a la línea desarrollada.

A continuación, se demuestran las gráficas respectivas para cada parámetro en evaluación en las 6 microcuencas en estudio:

Figura 15. Gráfica, parámetro uso del suelo



Fuente: autor

La gráfica representativa del parámetro de uso del suelo demuestra la tendencia del índice de forma con respecto a la calidad ambiental indicando que a medida que el valor de la forma del parche aumente, disminuye su calidad ambiental haciendo énfasis en que entre más amorfo sea un fragmento, se evidencia que existirá una matriz en aumento, demostrando que se realiza uso del suelo de manera descontrolada en la zona permitiendo que se aumente el efecto de borde.

En las 6 microcuencas en estudio se presentó un promedio entre 0,3 y 0,6 como rango de la calidad ambiental conjunta de las quebradas en comparación con el uso que se les da y la forma que obtienen.

Figura 16. Gráfica. Parámetro: pérdidas en cuencas hidrográficas

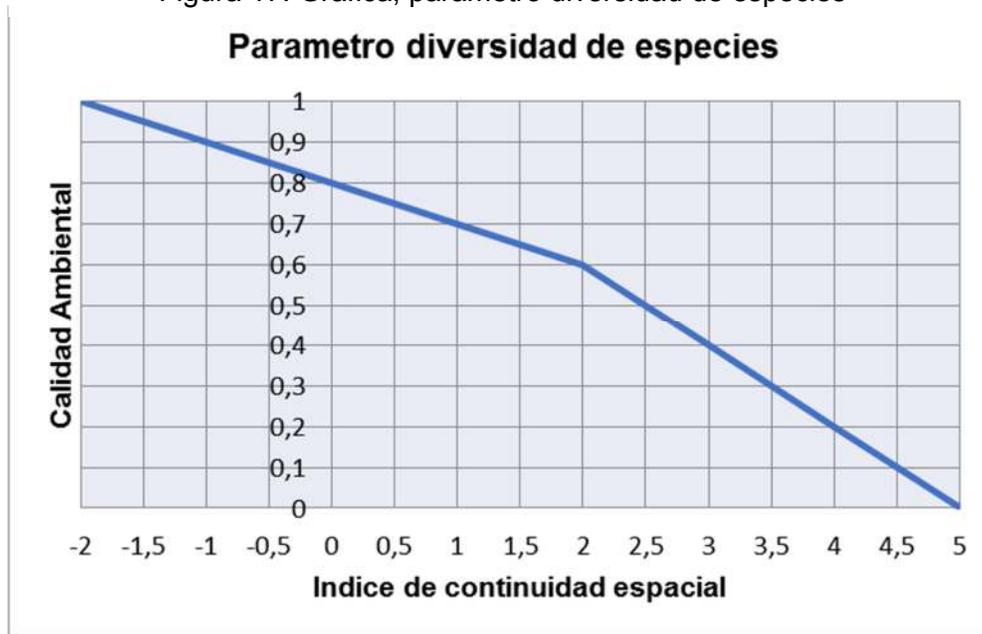


Fuente: autor

En la anterior gráfica se denota que a medida que aumente el valor del índice de compactación, la calidad ambiental de la zona será óptima y se obtendrán menos pérdidas en las microcuencas y cuencas por acción de la matriz, demostrando que las microcuencas serán menos frágiles a la pérdida de cobertura y al cambio en el ecosistema, sin embargo, los valores obtenidos en las 6 microcuencas evidenciaron valores no tan óptimos de compactación evidenciando que la calidad ambiental de cada zona de estudio está disminuyendo cada vez.

En las microcuencas en estudio se evidenció según este modelo que la calidad ambiental se encuentra en un rango promediado de 0,6 y 0,7 indicando que aún se puede recuperar los fragmentos que han sido alterados mediante una acción de restauración.

Figura 17. Gráfica, parámetro diversidad de especies



Fuente: autor

El gráfico representa la tendencia del índice de continuidad ante la calidad ambiental enfocándose en el parámetro de diversidad de especies; teniendo presente que este índice se desarrolla bajo una escala logarítmica en donde los valores menores a cero hacen referencia a una buena calidad ambiental, y los valores a partir de cero representan una disminución de la calidad ambiental.

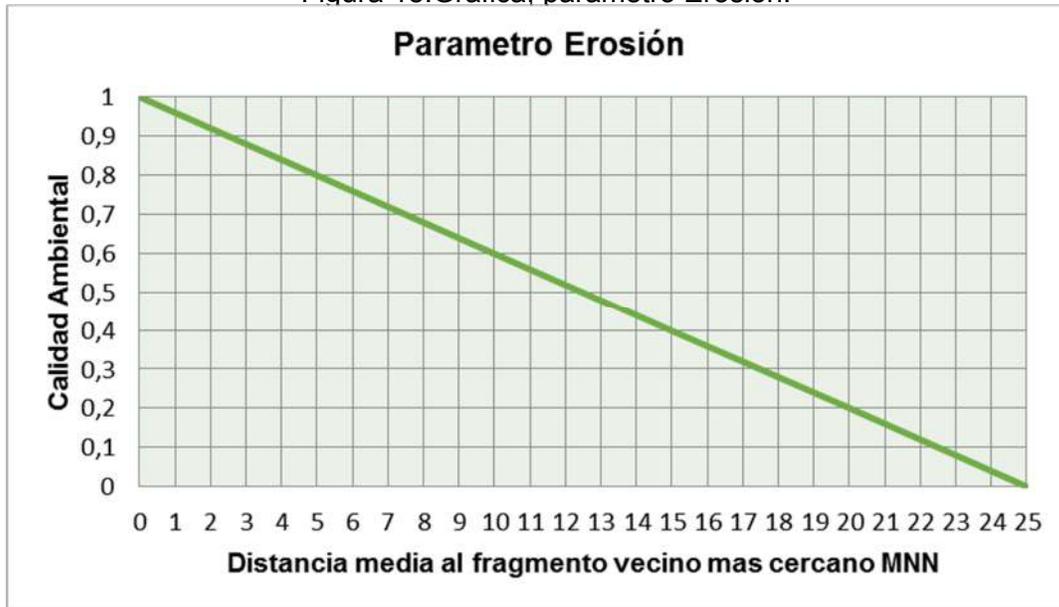
En las microcuencas estudiadas los valores obtenidos del índice de continuidad fueron mayores a cero, sin embargo, presentaron un rango entre 2,5 y 3,5 demostrando que la calidad ambiental estaba disminuida en valores de 0,32 a 0,51 evidenciando que las microcuencas presentan una pérdida en la diversidad de especies demostrando que los fragmentos están cada vez más alejados entre ellos por acciones antrópicas que impiden su reproducción y distribución.

Tabla 21. Calidad Ambiental vs índice de continuidad

MICROCUENCAS	FCI	CA
JABONERA	3,1	0,38
PAJUILA	3,4	0,32
EL MACHO	2,5	0,51
ARANZOQUE	3,0	0,40
ZAPAMANGA	3,1	0,38
RIO HATO	3,4	0,32

Fuente: autor

Figura 18. Gráfica, parámetro Erosión.



Fuente: autor

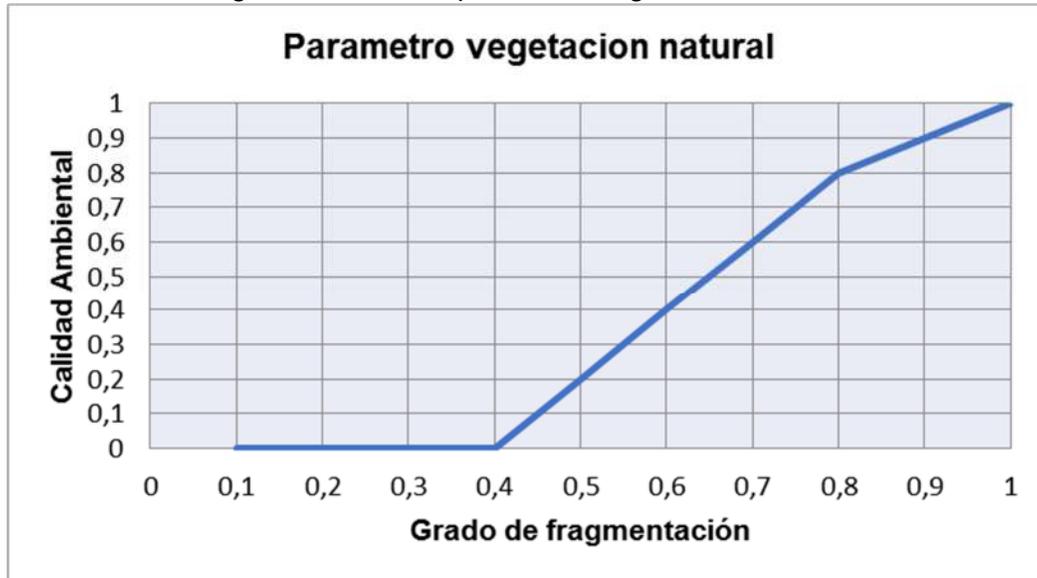
La gráfica que representa el parámetro de erosión demuestra la disminución de la calidad ambiental ante el aumento de la distancia media entre los fragmentos más cercanos; teniendo presente los valores de MNN obtenidos se evidencia que en la microcuenca el macho se encuentra una calidad ambiental menor evidenciando un valor de 0,32 demostrando que se presenta una posible erosión del área de influencia de la microcuenca debido a que la matriz está representada en aumento presentando cambios en la estructura del suelo y el paisaje, así mismo, con el mal manejo o descuido del ecosistema presente se ve afectada la calidad del recurso; las demás microcuencas presentan una disminución media de la calidad ambiental.

Tabla 22. Calidad Ambiental vs MNN

MICROCUENCAS	MNN	CA
JABONERA	10,3	0,59
PAJUILA	8,7	0,65
EL MACHO	17,1	0,32
ARANZOQUE	4,6	0,82
ZAPAMANGA	9,0	0,64
RIO HATO	5,9	0,76

Fuente: autor

Figura 19. Gráfica, parámetro vegetación natural



Fuente: autor

En la gráfica anterior se demuestra que la calidad ambiental presenta un cambio entre valores menores a 0,5 y mayores que este conociéndose que la calidad ambiental se muestra óptima a medida que el valor aumenta debido a que la fragmentación es menor o no se evidencia algún tipo de transformación.

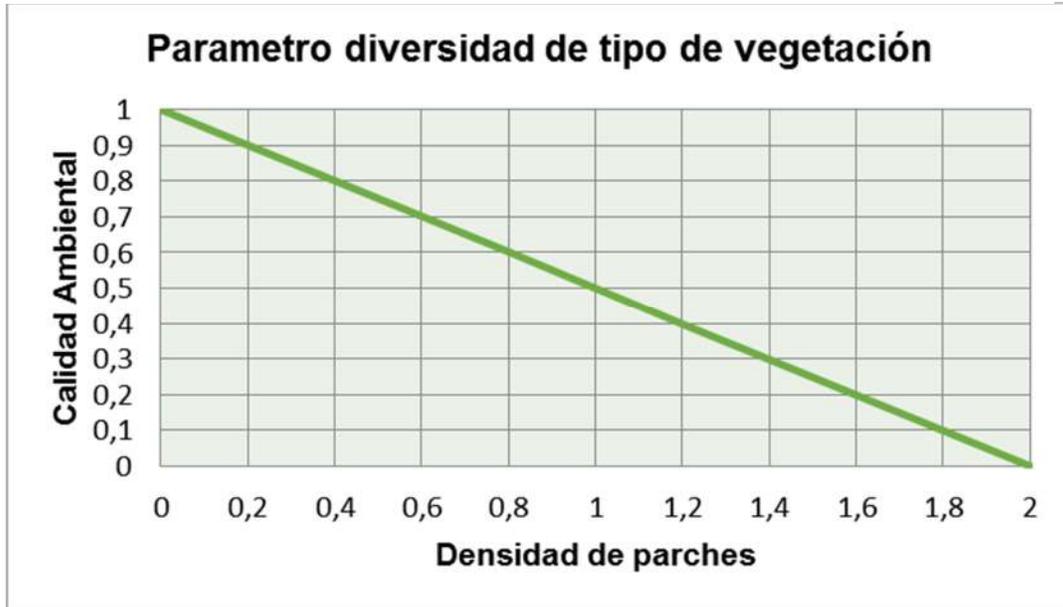
Tabla 23. Calidad Ambiental vs Grado de fragmentación

MICROCUENCAS	F	CA
JABONERA	0,36	0,00
PAJUILA	0,41	0,02
EL MACHO	0,07	0,00
ARANZOQUE	0,18	0,00
ZAPAMANGA	0,24	0,00
RIO HATO	0,48	0,16

Fuente: autor

Según los datos y la gráfica de tendencia de la transformación de la calidad ambiental se evidencia que solo la microcuenca rio Hato presenta una variación en el grado de fragmentación con una calidad ambiental de 0,16, sin embargo, al presentar un grado de fragmentación insularizado se denota que la calidad ambiental presente en las microcuencas es pésima.

Figura 20. Gráfica, parámetro diversidad tipo de vegetación



Fuente: autor

El grafico de la densidad de parches indica que a medida que la densidad sea mayor la calidad ambiental es menor debido a que una mayor densidad indica un estado de fragmentación en aumento teniendo presente que la densidad expresa el número de fragmentos por unidad de superficie.

Tabla 24. Calidad Ambiental vs Densidad

MICROCUENCAS	DENSIDAD	CA
JABONERA	0,7	0,64
PAJUILA	0,5	0,75
EL MACHO	1,9	0,05
ARANZOQUE	1,0	0,50
ZAPAMANGA	0,6	0,70
RIO HATO	0,3	0,85

Fuente: autor

La microcuenca el macho presenta una menor calidad ambiental respaldando los resultados anteriores; las microcuencas restantes se encuentran en un rango de 0,6 a 0,85 en calidad ambiental, con respecto al parámetro se evidencia que a medida que la densidad sea mayor se observaran perdidas de los diversos tipos de coberturas presentes en las microcuencas; y demuestra que los fragmentos aun presentan una calidad óptima en cuanto a la diversidad

de especies vegetales, aunque se puede presentar una pérdida de estas a medida que avanza la degradación de los bosques.

4.3.2. ELABORACIÓN MATRIZ DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO

Tabla 25. Matriz Batelle Columbus del proyecto

parámetro ambiental	microcuencas	Calidad Ambiental		Unidad importancia	valoración unidades de impacto ambiental			Color
		SP	CP		SP	CP	cambio neto	
uso del suelo (contaminación suelo)	jabonera	1	0,47	14	14	6,57	-7,43	[Red]
	pajuela	1	0,69	14	14	9,66	-4,34	
	el macho	1	0,37	14	14	5,12	-8,88	
	aranzoque	1	0,59	14	14	8,25	-5,76	
	zapamanga	1	0,57	14	14	7,97	-6,03	
	rio ható	1	0,53	14	14	7,43	-6,57	
perdidas en cuencas hidrográficas	jabonera	1	0,66	20	20	13,23	-6,77	[Red]
	pajuela	1	0,77	20	20	15,35	-4,65	
	el macho	1	0,62	20	20	12,47	-7,53	
	aranzoque	1	0,73	20	20	14,56	-5,44	
	zapamanga	1	0,71	20	20	14,20	-5,80	
	rio ható	1	0,69	20	20	13,82	-6,18	
diversidad de especies	jabonera	1	0,38	14	14	5,32	-8,68	[Red]
	pajuela	1	0,32	14	14	4,48	-9,52	
	el macho	1	0,51	14	14	7,14	-6,86	
	aranzoque	1	0,40	14	14	5,60	-8,40	
	zapamanga	1	0,38	14	14	5,32	-8,68	
	rio ható	1	0,32	14	14	4,48	-9,52	
Erosión	jabonera	1	0,59	14	14	8,26	-5,74	[Red]
	pajuela	1	0,65	14	14	9,10	-4,90	
	el macho	1	0,32	14	14	4,48	-9,52	
	aranzoque	1	0,82	14	14	11,48	-2,52	
	zapamanga	1	0,64	14	14	8,96	-5,04	
	rio ható	1	0,76	14	14	10,64	-3,36	
vegetación natural	jabonera	1	0,00	14	14	0,00	-14,00	[Red]
	pajuela	1	0,02	14	14	0,28	-13,72	

	el macho	1	0,00	14	14	0,00	-14,00	
	aranzoque	1	0,00	14	14	0,00	-14,00	
	zapamanga	1	0,00	14	14	0,00	-14,00	
	rio hato	1	0,16	14	14	2,24	-11,76	
<hr/>								
diversidad de tipos de vegetación								
	jabonera	1	0,64	0,9	0,9	0,58	-0,32	
	pajuila	1	0,75	0,9	0,9	0,68	-0,23	
	el macho	1	0,05	0,9	0,9	0,05	-0,86	
	aranzoque	1	0,50	0,9	0,9	0,45	-0,45	
	zapamanga	1	0,70	0,9	0,9	0,63	-0,27	
	rio hato	1	0,85	0,9	0,9	0,77	-0,14	

Fuente: autor

Según la tabla de evaluación del impacto desarrollada en cuanto a la sección de calidad ambiental para los parámetros, uso del suelo y pérdidas en microcuencas y cuencas hidrográficas, la microcuenca que obtuvo peor calidad fue la microcuenca el Macho y la que obtuvo mejor calidad ambiental fue la microcuenca Pajuila; en cuanto a la diversidad de especies, las microcuencas rio Hato y Pajuila presentan una calidad baja, mientras que en el parámetro erosión, la microcuenca el Macho presentó una calidad baja; con respecto a la vegetación natural, todas las microcuencas presentan baja calidad debido a la transformación que han presentado; por último en la diversidad de tipos de vegetación la microcuenca el macho presento la menor calidad ambiental.

De acuerdo a los datos de calidad ambiental, la microcuenca que más evidenció problemas ambientales debido a su transformación del bosque denso es la microcuenca el Macho, debido a que ha obtenido una pérdida mayor del bosque natural.

4.3.2.1 VALORACIÓN IMPACTOS EN USO DEL SUELO

De acuerdo a los valores obtenidos se evidencia un cambio neto que indicó cuanto cambia el valor en condición a sus unidades de importancia establecidas por el método para cada parámetro; en la valoración del impacto con respecto al uso del suelo se evidencio que:

La microcuenca Pajuila se encuentra con menor vulnerabilidad a la contaminación por el uso indebido del suelo obteniendo un porcentaje de -31 de 100, por consiguiente, le siguen con un estado de fragilidad las microcuencas Aranzoque, Zapamanga y rio Hato con porcentajes de -41, -43 y -47 respectivamente; las microcuencas jabonera y el macho son las más expuestas a niveles críticos en contaminación con -53 y -63%; se señalaron con color rojo las microcuencas que representan valores más altos de pérdida del porcentaje (100%) o valor óptimo.

4.3.2.2 VALORACIÓN IMPACTOS EN PÉRDIDAS EN MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS

Según la valoración cuantitativa se evidencia baja fragilidad en todas las microcuencas en donde se demuestra que se generan pérdidas mínimas en microcuencas y cuencas hidrográficas debido al mal manejo que se genera a la cobertura vegetal existente que protege el recurso agua.

Las microcuencas Pajulla, aAanzoque y Zapamanga se ven afectadas de manera mínima demostrando un porcentaje de -23, -27 y -29 respectivamente permitiendo conocer que en las microcuencas se comienzan a evidenciar pérdidas, no obstante, se demuestra que las microcuencas jabonera con un -34%, el macho con -38% y río Hato con -31% igualmente se encuentran en un bajo estado de fragilidad aunque demostrando cambios en el ecosistema por la vulnerabilidad en aumento y exposición, presentando un porcentaje bajo con respecto a la valoración óptima; es importante empezar a observar el parámetro y plantear estrategias que permitan una recuperación del ecosistema presente en las riberas de las quebradas para evitar el aumento de pérdidas.

4.3.2.3 VALORACIÓN IMPACTOS EN DIVERSIDAD DE ESPECIES

Según los valores obtenidos, se identifica la microcuenca el Macho sin color rojo indicando que presenta un nivel moderado de fragilidad ante la disminución de especies por extinción o por migración de las mismas para su supervivencia.

Según los porcentajes del cambio presente en la diversidad de especies se evidencia una vulnerabilidad en la microcuenca el Macho con un porcentaje de -49; las 5 microcuencas restantes representan un nivel alto de fragilidad y exposición teniendo presente que su porcentaje de cambio supera el -50% presentándose de la siguiente manera: microcuenca Aranzoque con -60%; microcuencas Jabonera y Zapamanga con un -62%; por consiguiente, las microcuencas Pajulla y río Hato con un -68%.

4.3.2.4 VALORACIÓN IMPACTOS EN EROSIÓN

Se presenta un impacto moderado en la mayoría de las microcuencas en estudio, debido a que las microcuencas presentan bajo porcentaje teniendo presente que 100 es el porcentaje óptimo para que la microcuenca no presente variaciones.

La erosión se evidencia en dos microcuencas debido a los cambios de uso del suelo, así como de la deforestación que representan las áreas de influencia; la microcuenca jabonera presentó un cambio neto de -41%, la microcuenca el macho con un -68%, mientras que las microcuencas Aranzoque con -18%; río Hato con un porcentaje de -24, y las microcuencas Pajulla y Zapamanga con -35 y -36%.

4.3.2.5 VALORACIÓN IMPACTOS VEGETACIÓN NATURAL

Demuestra si la valoración del impacto indica presencia de vegetación natural o si se han generado procesos de habilitación de cobertura inducida por el hombre.

En este parámetro se obtuvieron valores de cambio críticos demostrando que la exposición de las microcuencas al cambio de la vegetación natural es máxima, es decir presentan un cambio neto de gran diferencia representando un estado alto de fragilidad al cambio de vegetación por parte de la matriz.

Las microcuencas Pajuela y río Hato demostraron un cambio de -98 y -84%, siendo estos los valores menos frágiles presentes, mientras que las microcuencas Jabonera, el Macho, Aranzoque y Zapamanga evidencian cambios críticos para el ecosistema presente demostrando un alto impacto en la calidad ambiental.

4.3.2.6 VALORACIÓN IMPACTOS EN DIVERSIDAD DE TIPOS DE VEGETACIÓN

Se demuestra que se genera un cambio moderado en la diversidad de los tipos de vegetación, aunque se presenta una pérdida en su vegetación natural, el aumento de la matriz genera que se aumenten los cambios en la biota presente disminuyendo los tipos de vegetación natural permitiendo que los fragmentos queden reducidos y aislados evitando su reproducción natural y generando un aumento de pérdidas cada vez más evidente.

La microcuenca río Hato represento -15% de 100 indicando una vulnerabilidad baja en pérdida de los diversos tipos de vegetación; las microcuencas Pajuela y Zapamanga presentaron un -25% y un -30% indicando un grado moderado de exposición; la microcuenca jabonera representada con un -36% indico un estado de vulnerabilidad a la disminución de los tipos de vegetación; la microcuenca Aranzoque presentó un -50% y la microcuenca el macho evidenció un -95% evidenciando pérdidas y permitiendo que solo se mantengan los tipos de vegetación más resistentes y abundantes a los cambios de uso del suelo.

4.3.3. CORRELACIÓN DE LOS ÍNDICES BASADOS EN ÁREAS

Se obtuvieron los siguientes valores de correlación que permiten observar el comportamiento de los índices con respecto a la calidad ambiental.

4.3.3.1 CORRELACIÓN ÍNDICE DE FORMA DE PATTON

Teniendo presente según la varianza, que entre más cercanos a cero se encuentren los valores, menos dispersión presentan; se determina que los valores de índice de forma que presentaron menor dispersión entre sí en los dos ejes son los pertenecientes a las microcuencas Jabonera, el Macho y Aranzoque, indicando que se presentan gran cantidad de parches con un índice de forma de igual valor, o bien, se presentan varios fragmentos con un índice de forma en un rango determinado; sucede lo mismo en la calidad ambiental para cada microcuenca debido a que varía su condición según el índice expresado.

Tabla 26. Correlación índice de forma

cálculos	microcuencas					
	Jabonera	pajuela	el macho	aranzoque	zapamanga	rio hato
<u>promedio DI</u>	1,66	1,43	1,66	1,49	1,60	1,65
<u>promedio CA</u>	0,47	0,69	0,37	0,59	0,57	0,53
<u>varianza DI</u>	0,33	0,51	0,09	0,36	0,71	0,91
<u>varianza CA</u>	0,12	0,05	0,07	0,09	0,10	0,11
<u>covarianza</u>	-0,18	-0,13	-0,08	-0,14	-0,20	-0,20
<u>correlación</u>	-0,92	-0,82	-0,99	-0,78	-0,75	-0,65
función: <u>Y= ax+b</u>	-0,56x+1,40	-0,25x+1,05	-0,84x+1,77	-0,39x+1,18	-0,29x+1,03	-0,22x+0,90
<u>a</u>	-0,56	-0,25	-0,84	-0,39	-0,29	-0,22
<u>b</u>	1,40	1,05	1,77	1,18	1,03	0,90

Fuente: autor

Por consiguiente, las microcuencas Pajuela, Zapamanga y rio Hato presentaron diferencias más notables entre su varianza con respecto a los dos ejes.

Según los valores obtenidos en la correlación de cada microcuenca se evidencia que todos obtuvieron valores negativos, indicando que las relaciones entre la calidad ambiental y el índice de forma de cada fragmento son inversas, haciendo referencia que, entre mayor sea el valor de forma, menor será la calidad ambiental y comprobando la tendencia del índice establecida en las gráficas de transformación de la calidad ambiental.

4.3.3.2 CORRELACIÓN ÍNDICE DE COMPACTACIÓN

Tabla 27. Correlación índice de compactación

cálculos	microcuencas					
	Jabonera	pajuela	el macho	aranzoque	zapamanga	rio hato
<u>promedio IC</u>	0,66	0,77	0,62	0,73	0,71	0,69
<u>promedio CA</u>	0,66	0,77	0,62	0,73	0,71	0,69
<u>varianza IC</u>	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03
<u>varianza CA</u>	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03
<u>covarianza</u>	0,035	0,0217	0,0156	0,0274	0,036	0,034
<u>correlación</u>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
función: <u>Y= ax+b</u>	y=1x+0	y=1x+0	y=1x+0	y=1x+0	y=1x+0	y=1x+0

R-DC-95

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y
PRÁCTICA

VERSIÓN: 01

a	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: autor

Según los valores obtenidos se denota que la varianza es de igual valor tanto en el eje x como en el eje y para cada microcuenca respaldando que los datos forman una recta lineal en el plano en donde se desarrollan los mismos valores.

Así mismo, se demuestra que el valor de correlación para todas las microcuencas fue el mismo debido a que la gráfica de tendencia hace referencia a que a medida que avanza, sus valores en el eje x y en el eje y serán los mismos por ende comprueba la tendencia de la misma, así mismo, sus valores confirman que su dependencia es positiva y su relación es directa con respecto a su incremento en el valor óptimo.

5. CONCLUSIONES

Los fragmentos de bosque están representados en las zonas de influencia de las fuentes hídricas, sin embargo, aunque presentan un área menor de extensión se puede propagar la afectación de la matriz por efectos adversos al borde de los parches aumentando así, la distancia entre fragmentos y generando una pérdida de biodiversidad a escala irreversible.

A lo largo de las riberas de las quebradas en estudio se presentan pequeñas zonas de intervención por actividades antrópicas que pueden generar desestabilización del terreno, pérdida del recurso, contaminación del mismo, así como un aumento en la propagación de fenómenos naturales por el mal manejo.

La fragmentación de bosques a nivel cobertura representa un porcentaje bajo de intervenciones causadas por disturbios, debido a que su forma en su totalidad aun no es altamente propagada de manera irregular o amorfa y su continuidad aun es evidente, aunque con probabilidad de cambios en el ecosistema.

La calidad ambiental de las microcuencas refleja el estado de las mismas ante los impactos que se presentan, para la realización de las tendencias fue necesario tener en cuenta las tablas indicadoras para cada modelo establecido, así mismo, se evidencia que la calidad es baja para la microcuenca el Macho ante el uso del suelo (contaminación), erosión, diversidad de tipos de vegetación y la pérdida de microcuencas y cuencas, las microcuencas rio hato y Pajulla representan baja calidad ante la diversidad de especies.

La vegetación natural representa un impacto negativo para las microcuencas en estudio debido a los cambios que se presentan en la matriz que a medida que avanza su distribución se va reemplazando la vegetación raparía por vegetación introducida, este cambio hace representación del estado de fragmentación presentado.

Los impactos ambientales que representan los cambios en las coberturas del área de influencia son los pertenecientes a los componentes especies y poblaciones, hábitat y comunidades, contaminación del suelo y agua, y biota, indicando los cambios referentes en la biodiversidad de especies animales y vegetales presentes, el uso del suelo y el estado del ecosistema.

Los resultados de cobertura vegetal, fragmentos encontrados, calidad ambiental y transformación conllevan a una misma valoración del área de influencia de cada microcuenca siendo consecuentes y coherentes entre si permitiendo comprobar los análisis cualitativos encontrados mediante un método de evaluación de impactos cuantitativo específico.

El estudio permitió observar que tan escasas se encuentran las coberturas presentes en las microcuencas en estudio, agregando un valor cuantitativo interpretado de manera cualitativa mediante el comportamiento del ecosistema y su biota ante cambios generados. Debido a la falta de recursos económicos a asignar por parte del proyecto en convenio no se realizó el estudio en las 28 microcuencas como se esperaba inicialmente, sin embargo

se desarrolló todo el procedimiento planteado en 6 de las microcuencas planteadas encontradas en los municipios: Bucaramanga, Floridablanca y Piedecuesta.

La microcuenca Guayana no se tomó en cuenta para el análisis de las microcuencas presentes debido a que de esta no se obtuvieron coordenadas precisas y su nombre se encontraba mal planteado en el convenio establecido, por lo cual, se decidió dejar para su respectivo estudio por las personas que continúen con el proyecto planteado; sin embargo a cambio de esta microcuenca se tomó para estudio la microcuenca rio Hato perteneciente al municipio de Piedecuesta.

Este proyecto servirá como base para la elaboración de estrategias que permitan una futura reforestación de las zonas más afectadas con el fin de recuperar el equilibrio del ecosistema y evitar que se propaguen los impactos presentes.

6. RECOMENDACIONES

Es importante establecer la investigación a nivel específico de cada microcuenca para establecer directamente el daño causado a las rondas hídricas por cobertura existente en las áreas de influencia, es decir, elaborar un estudio que involucre coberturas de tierra más desglosadas que permitan un análisis más profundo en cuanto a los disturbios que se puedan presentar por alteración de la cobertura.

En el análisis de clasificación supervisada es importante detallar cada cobertura encontrada según sea el objetivo del trabajo en estudio para evitar generalizar en un contexto amplio.

Se recomienda elaborar un estudio de campo, para establecer la comparación de afectación a las coberturas y permitir elaborar programas de restauración adecuados para cada microcuenca en estudio según las afectaciones encontradas.

Se requiere que las métricas a realizar en el proceso del análisis de fragmentos sea la más precisa posible enfocándose a elaborar la medición a una escala específica de acercamiento con el fin de que los resultados sean más precisos.

El análisis presente servirá como base para las personas que deseen continuar con el estudio de las microcuencas restantes, con el fin de conocer el estado de fragmentación y los impactos presentes en cada municipio en jurisdicción de la CDMB.

Es necesario el aporte del convenio en información perteneciente a los puntos de inicio y final de estudio de cada microcuenca, así como el apoyo económico con el fin de que los resultados sean más precisos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado Bello, s. a. (2014). uso de un sistema de informacion geografica para el analisis de amenaza por inundaciones en la cuenca alta del rio bogota-municipio de cota- limites localidad de suba. bogota, colombia.
- Alvarez del castillo, J., & Agredo Cardona, G. A. (2013). pérdida de la cobertura vegetal y de oxígeno en la media montaña del trópico andino, caso cuenca urbana san luis (manizales). *luna azul*, 37: 30-48.
- Aponte Perez, L., & Galeano Franco, L. (2017). uso de la tierra. En L. Aponte Perez, & L. Galeano Franco, *análisis multitemporal de los cambios en los usos del suelo y su influencia en la oferta hídrica superficial en la microcuenca la tenería del municipio de la playa de belén norte de santander* (pág. 23). ocaña, santander.
- Barrera Zuñiga, R. A., & Garcia Orduña, D. (2015). que es una imagen satelital. En R. A. Barrera Zuñiga, & D. Garcia Orduña, *procesamiento, interpretacion y analisis de imagenes satelitales en la banda de los 400 a 700 nanometros para aplicaciones de percepcion remota* (págs. 10-32).
- CDMB. (2007). coberturas y uso actual de las tierras. En *plan de ordenacion y manejo ambiental subcuenca lebrija alto* (págs. 22-27).
- CDMB. (22 de diciembre de 2008). *corporacion autonoma regional para la defensa de la meseta de bucaramanga*. Obtenido de coberturas y usos del suelo: <http://www.cdmb.gov.co/web/tematicas/suelos-m>
- CDMB. (09 de noviembre de 2017). convenio interadministrativo No. 11196--08 celebrado entre la corporacion autonoma regional para la defensa de la meseta de bucaramanga y las unidades tecnologicas de santander. colombia.
- CDMB, uso actual de tierras. (2007). uso actual de las tierras. En *plan de ordenacion y manejo ambiental subcuenca rio de oro* (págs. 51-52). bucaramanga.
- CORTOLIMA. (17 de octubre de 2017). Obtenido de <https://www.cortolima.gov.co/boletines-prensa/qu-ronda-h-drica>
- Departamento de la guajira. (marzo de 2007). Obtenido de ftp://ftp.ciat.cgiar.org/DAPA/planificacion/GEOMATICA/SIG/SIG_Modulo.pdf
- (2011). descripcion de la situacion en los restantes municipios del area de jurisdiccion de la CDMB . En CDMB, *plan de accion para la atencion de la emergencia y la mitigacionde sus efectos, PAAEME* (págs. 14-18).

- Galván Guevara, S., Ballut Dajud, G., & De La Ossa V., J. (2015). Determinación de la fragmentación del bosque seco del arroyo Pechelín, Montes de María, Caribe, Colombia. *Biota Colombiana*, 149 - 157.
- García Leyton, L. A. (mayo de 2004). *tesis doctorales en web*. Obtenido de aplicación del análisis multicriterio en la evaluación de impactos ambientales: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6830/04LagI04de09.pdf>
- García, D. (2011). Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. *ecosistemas 20 (2)*, 1-10.
- Hernandez Menco, C. E. (2017). NDVI (índice diferencial normalizado de vegetación). En C. E. Hernandez Menco, *análisis multitemporal del cambio en la cobertura del suelo, en la zona de inundación de la represa hidrosogamoso, departamento de santander, años 2001 y 2015* (pág. 15). Bogota.
- IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Bogota D.C: Scripto Ltda.
- IGAC. (2013). *descripcion y correccion de productos landsat 8 LDCM (landsat data continuity mission) version 1.0*. Bogota.
- J.M., H. (2011). El papel de la matriz en el mantenimiento de la biodiversidad en hábitats fragmentados. De la teoría ecológica al desarrollo de estrategias de conservación. *revista ecosistemas 20 (2)*, 21-34.
- J.P., R. D., G.A., G., A.P., Y., & E., C. (2018). fragmentacion del bosque - transiciones entre las clases de fragmentacion. En P. O.-R. IDEAM Y MADS, *estimacion de la degradacion de bosques de colombia a través de un análisis de fragmentación* (págs. 28-31). Bogota.
- Lozano Botache, L., Gómez Aguilar, F. A., & Valderrama Chaves, S. (2011). Estado de fragmentación de los bosques naturales en el norte del departamento del Tolima-Colombia. *Revista Tumbaga 2011 | 6 |*, 125-140.
- Observatorio Ambiental de Cartagena de Indias. (diciembre de 2015). *diseño del sistema inteligente de monitoreo de la calidad ambiental del distrito de cartagena*. Obtenido de Convenio Interadministrativo 0133-2015 celebrado entre el EPA y la Universidad de Cartagena:
<http://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/ecosistemas/lagunas-y-cuerpos-de-agua-internos/vegetacion-que-se-encuentran-en-las-rondas-hidricas-de-los-arroyos-de-las-cuencas-que-drenan-al-sistema-de-canos-y-lagos/>
- Patiño Narvaes, N. A. (2015). teledetección. En N. A. Patiño Narvaes, *clasificación de la cobertura de la tierra en el suelo rural del municipio de pupiales – nariño mediante la aplicación de herramientas sig* (pág. 23).

- Pineda Pastrana, O. (2011). *Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de valle de santiago*. CentroGeo.
- Pinto Arroyo, S. C. (2007). 3. metodos cuantitativos. metodo del instituto Batelle-Columbus. En S. C. Pinto Arroyo, *valoración de impactos ambientales* (págs. 7-14). Sevilla.
- Santos, T., & Tellería, J. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat:efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas 15* (2), 3-12.
- Sosa Reyes, Y. Y. (2015). *analisis multitemporal de la cobertura de la tierra de la sub cuenca del rio mocal, lempira, honduras, durante el periodo de los años 1988 al 2014*. tegucigalpa, honduras.
- Suárez Parra, K. V., Cély Reyes, G. E., & Forero Ulloa, F. E. (2016). Validación de la metodología Corine Land Cover (CLC) para determinación espaciotemporal de coberturas: caso microcuenca de la quebrada Mecha (Cómbita, Boyacá), Colombia. *Biota colombiana*.
- Toro Calderón, J., Martínez Prada, R., & Arrieta Loyo, G. (2013). Métodos de Evaluación de Impacto Ambiental en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental – Volumen 4 Número 2*, 43-53.

8. ANEXOS

ANEXO A CALCULO DE MICROCUENCAS

Tabla 1. Cálculos microcuencia pajuila.

N. PARCHES	PERIMETRO M	AREA DE PARCHE M2	DI	FORMA	IND. COMPACTA
1	300,35644	3.593,75	1,41	oval-redondo	0,71
2	238,99772	2.707,09	1,30	oval-redondo	0,77
3	124,44057	977,45364	1,12	redondo	0,89
4	180,203785	1.801,26	1,20	redondo	0,83
5	239,997357	2.700,24	1,30	oval-redondo	0,77
6	409,381616	6.039,99	1,49	oval-redondo	0,67
7	419,817002	5.390,65	1,61	oval oblongo	0,62
8	119,936	899,038	1,13	redondo	0,89
9	284,243306	3.408,16	1,37	oval-redondo	0,73
10	119,936	899,038	1,13	redondo	0,89
11	241,253375	2.685,36	1,31	oval-redondo	0,76
12	477,912374	7.961,78	1,51	oval oblongo	0,66
13	119,936	899,038	1,13	redondo	0,89
14	119,936	899,038	1,13	redondo	0,89
15	300,57528	4.497,96	1,26	oval-redondo	0,79
16	118,165028	890,892137	1,12	redondo	0,90
17	119,936	899,038	1,13	redondo	0,89
18	234,400062	2.649,70	1,28	oval-redondo	0,78
19	299,600725	4.496,38	1,26	oval-redondo	0,79
20	1.449,71	24.759,39	2,60	amorfo o irregular	0,38
21	12.927,60	506.927,09	5,12	Amorfo o irregular	0,20
22	107,792553	711,147873	1,14	redondo	0,88
23	118,93935	841,806024	1,16	redondo	0,86
24	470,371202	9.763,55	1,34	oval-redondo	0,74
25	443,454026	8.778,11	1,34	oval-redondo	0,75
26	146,8023	875,256184	1,40	oval-redondo	0,71
27	180,205262	1.803,38	1,20	redondo	0,84
28	180,205262	1.803,38	1,20	redondo	0,84
29	119,936	899,038	1,13	redondo	0,89
30	119,936	899,038	1,13	redondo	0,89
31	90,792519	375,992601	1,32	oval-redondo	0,76
32	97,378078	400,474252	1,37	oval-redondo	0,73
TOTAL	20922,15354	613.133,51			

Fuente: autor

Tabla2.cálculos microcuenca el macho.

N. PARCHES	PERIMETRO M	AREA DE PARCHE M2	DI	FORMA	IND.COMPACTA
1	420,212496	5.398,99	1,61	oval oblongo	0,62
2	255,257573	2.102,32	1,57	oval oblongo	0,64
3	419,682759	5.394,67	1,61	oval oblongo	0,62
4	359,874624	2.706,05	1,95	rectangular	0,51
5	528,282015	8.803,30	1,59	oval oblongo	0,63
6	119,936	899,038	1,13	redondo	0,89
7	837,290129	11.677,86	2,19	amorfo o irregular	0,46
TOTAL	2940,535513	36.982,2195			

Fuente: autor

Figura 3. Tabla cálculos microcuenca aranzoque 1.

PARCHES	PERÍMETRO M	ÁREA M ²	DI	FORMA	CUMPLI A
1	291,160256	3.486,59	1,39	OVAL-REDONDO	0,72
2	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
3	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
4	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
5	109,051	690,359333	1,17	REDONDO	0,85
6	300,11758	2.703,07	1,63	OVAL OBLONGO	0,61
7	263,942045	2.899,43	1,38	OVAL-REDONDO	0,72
8	240,001483	2.701,44	1,30	OVAL-REDONDO	0,77
9	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
10	540,09513	7.197,86	1,80	RECTANGULAR	0,56
11	176,163186	1.872,20	1,15	REDONDO	0,87
12	969,271903	14.726,76	2,25	AMORFO O IRREGULAR	0,44
13	108,9581	733,627034	1,13	REDONDO	0,88
14	116,60762	881,634326	1,11	REDONDO	0,90
15	660,074511	8.996,57	1,96	RECTANGULAR	0,51
16	84,99693	343,032155	1,29	OVAL-REDONDO	0,77
17	641,747233	8.484,24	1,97	RECTANGULAR	0,51
18	69,804137	203,060384	1,38	OVAL-REDONDO	0,72
19	94,834641	380,816933	1,37	OVAL-REDONDO	0,73
20	383,302001	3.788,09	1,76	RECTANGULAR	0,57
21	409,409557	3.713,15	1,90	RECTANGULAR	0,53
22	395,44955	5.562,18	1,50	OVAL OBLONGO	0,67
23	239,973241	2.700,92	1,30	OVAL-REDONDO	0,77
24	957,958892	13.445,24	2,33	AMORFO O IRREGULAR	0,43
25	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
26	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
27	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
28	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
29	659,923597	8.995,09	1,96	RECTANGULAR	0,51
30	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
31	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
32	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
33	359,898997	4.493,91	1,51	OVAL OBLONGO	0,66
34	299,97463	2.700,69	1,63	OVAL OBLONGO	0,61
35	299,97463	2.700,69	1,63	OVAL OBLONGO	0,61
36	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
37	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
38	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
39	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
40	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
41	115,738507	874,739036	1,10	REDONDO	0,91
43	599,957766	9.903,02	1,70	OVAL OBLONGO	0,59
44	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
45	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
46	233,990706	1.726,38	1,59	OVAL OBLONGO	0,63
47	149,194226	1.308,69	1,16	REDONDO	0,86
48	488,764698	7.184,74	1,63	OVAL OBLONGO	0,61
49	659,545475	9.887,38	1,87	RECTANGULAR	0,53
50	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
51	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
52	138,175327	1.167,34	1,14	REDONDO	0,88
53	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
54	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
55	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
56	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
57	249,773071	1.713,82	1,70	OVAL OBLONGO	0,59
58	360,23115	3.601,00	1,69	OVAL OBLONGO	0,59
59	109,091274	715,335891	1,15	REDONDO	0,87
60	166,945097	1.574,15	1,19	REDONDO	0,84
61	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
62	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
63	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
64	270,428022	2.560,41	1,51	OVAL OBLONGO	0,66
65	240,110065	1.798,08	1,60	OVAL OBLONGO	0,63
66	277,540891	3.247,19	1,37	OVAL-REDONDO	0,73
67	437,817238	4.762,56	1,79	RECTANGULAR	0,56
68	104,014395	524,886497	1,28	OVAL-REDONDO	0,78
69	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
70	533,479028	7.131,48	1,78	RECTANGULAR	0,56
71	300,071419	4.500,51	1,26	OVAL-REDONDO	0,79
72	240,083514	2.706,25	1,30	OVAL-REDONDO	0,77
73	134,830715	727,228413	1,41	OVAL-REDONDO	0,71
74	349,128963	3.423,74	1,68	OVAL OBLONGO	0,59
75	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
76	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
77	110,98263	765,074436	1,13	REDONDO	0,88
78	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
79	1.147,20	23.221,70	2,12	AMORFO O IRREGULAR	0,47
80	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
81	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
82	299,97463	2.700,69	1,63	OVAL OBLONGO	0,61
83	660,192424	7.190,73	2,20	AMORFO O IRREGULAR	0,46
84	300,099942	3.600,91	1,41	OVAL-REDONDO	0,71

Fuente: autor

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Figura4. Tabla cálculos microcuenca aranzoque 2.

85	300,099942	3.600,91	1,41	OVAL-REDONDO	0,71	128	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
86	359,973066	5.398,63	1,38	OVAL-REDONDO	0,72	129	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
87	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89	130	116,691753	885,656796	1,11	REDONDO	0,90
88	240,215522	2.703,98	1,30	OVAL-REDONDO	0,77	131	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
89	656,397495	8.923,49	1,96	RECTANGULAR	0,51	132	355,128269	2.444,96	2,03	AMORFO O IRREGULAR	0,49
90	266,939344	3.123,21	1,35	OVAL-REDONDO	0,74	133	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
91	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84	134	359,556485	5.384,32	1,38	OVAL-REDONDO	0,72
92	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89	135	240,497946	2.710,88	1,30	OVAL-REDONDO	0,77
93	630,459146	6.880,26	2,14	AMORFO O IRREGULAR	0,47	136	270,525948	2.252,05	1,61	OVAL OBLONGO	0,62
94	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84	137	254,610665	2.813,89	1,35	OVAL-REDONDO	0,74
95	157,963579	1.081,46	1,36	OVAL-REDONDO	0,74	138	240,497946	2.710,88	1,30	OVAL-REDONDO	0,77
96	479,038367	13.800,88	1,15	REDONDO	0,87	139	359,729924	5.409,84	1,38	OVAL-REDONDO	0,72
97	171,809686	1.669,87	1,19	REDONDO	0,84	140	420,133163	7.199,04	1,40	OVAL-REDONDO	0,72
98	300,170732	5.406,94	1,15	REDONDO	0,87	141	94,686249	408,166627	1,32	OVAL-REDONDO	0,76
99	300,06498	3.602,66	1,41	OVAL-REDONDO	0,71	142	240,099293	1.800,84	1,60	OVAL OBLONGO	0,63
100	880,355573	19.131,82	1,80	RECTANGULAR	0,56	143	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
101	419,974246	4.500,34	1,77	RECTANGULAR	0,57	144	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
102	300,11277	4.503,35	1,26	OVAL-REDONDO	0,79	145	747,576314	9.858,76	2,12	AMORFO O IRREGULAR	0,47
103	1.030,26	9.759,80	2,94	AMORFO O IRREGULAR	0,34	146	549,159055	9.134,07	1,62	OVAL OBLONGO	0,62
104	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89	147	212,48031	2.284,63	1,25	OVAL-REDONDO	0,80
105	344,017982	3.088,63	1,75	OVAL OBLONGO	0,57	148	5.726,63	128.677,97	4,50	AMORFO O IRREGULAR	0,22
106	1.199,28	24.596,89	2,16	AMORFO O IRREGULAR	0,46	149	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
107	299,97463	2.700,69	1,63	OVAL OBLONGO	0,61	150	299,707516	3.586,43	1,41	OVAL-REDONDO	0,71
108	124,706748	927,857191	1,15	REDONDO	0,87	151	480,050406	8.104,44	1,50	OVAL OBLONGO	0,66
109	152,227199	822,799572	1,50	OVAL OBLONGO	0,67	152	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
110	164,078863	1.279,84	1,29	OVAL-REDONDO	0,77	153	12.742,98	472.349,05	5,23	AMORFO O IRREGULAR	0,19
111	325,38307	4.334,02	1,39	OVAL-REDONDO	0,72	154	299,97463	2.700,69	1,63	OVAL OBLONGO	0,61
112	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89	155	300,099942	3.600,91	1,41	OVAL-REDONDO	0,71
113	175,917257	1.167,97	1,45	OVAL-REDONDO	0,69	156	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
114	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84	157	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
115	481,132804	6.790,06	1,65	OVAL OBLONGO	0,61	158	818,205305	16.190,16	1,81	RECTANGULAR	0,55
116	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84	159	1.725,64	31.922,99	2,72	AMORFO O IRREGULAR	0,37
117	723,168137	8.686,25	2,19	AMORFO O IRREGULAR	0,46	160	640,657918	9.540,44	1,85	RECTANGULAR	0,54
118	613,024462	10.250,55	1,71	OVAL OBLONGO	0,59	161	240,242456	3.606,79	1,13	REDONDO	0,89
119	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89	162	1.908,08	36.074,75	2,83	AMORFO O IRREGULAR	0,35
120	301,660694	3.127,49	1,52	OVAL OBLONGO	0,66	163	111,570395	786,060531	1,12	REDONDO	0,89
121	91,040387	372,774938	1,33	OVAL-REDONDO	0,75	164	4.951,54	133.597,65	3,82	AMORFO O IRREGULAR	0,26
122	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89	165	1.248,23	20.766,17	2,44	AMORFO O IRREGULAR	0,41
123	368,338001	5.628,89	1,38	OVAL-REDONDO	0,72	166	108,88	615,330105	1,24	REDONDO	0,81
124	149,870103	1.198,53	1,22	REDONDO	0,82	167	7.618,08	225.426,01	4,53	AMORFO O IRREGULAR	0,22
125	240,666948	2.707,83	1,30	OVAL-REDONDO	0,77	168	652,11	18.418,97	1,36	OVAL-REDONDO	0,74
126	159,342061	1.180,45	1,31	OVAL-REDONDO	0,76						
127	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89						
						TOTAL	81530,84543	1.619.229,31			

Fuente: autor

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

R-DC-95

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y
PRÁCTICA

VERSIÓN: 01

Figura 5. Tabla cálculos microcuenca zapamanga.

N° PARCHES	PERIMETRO M	PARCHES M2	DI	FORMA	IND. COMPACTA
1	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
2	299,97463	2.700,69	1,63	OVAL OBLONGO	0,61
3	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
4	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
5	3183,089	54.246,294	3,86	AMORFO O IRREGULAR	0,26
6	141,15	847,712379	1,37	OVAL-REDONDO	0,73
7	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
8	84,348	265,665	1,46	OVAL-REDONDO	0,69
9	589,808352	8.622,04	1,79	RECTANGULAR	0,56
10	359,948427	4.489,05	1,52	OVAL OBLONGO	0,66
11	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
12	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
13	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
14	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
15	359,914	3.598,930	1,69	OVAL OBLONGO	0,59
16	299,97463	2.700,69	1,63	OVAL OBLONGO	0,61
17	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
18	1012,10	12.494,86	2,55	AMORFO O IRREGULAR	0,39
19	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
20	118,121	891,159	1,12	REDONDO	0,90
21	480,114	5.402,164	1,84	RECTANGULAR	0,54
22	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
23	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
24	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
25	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
26	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
27	1250,379	35.982,119	1,86	RECTANGULAR	0,54
28	81,69	322,850959	1,28	OVAL-REDONDO	0,78
29	240,099293	1.800,84	1,60	OVAL OBLONGO	0,63
30	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
31	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
32	413,908	3.666,545	1,93	RECTANGULAR	0,52
33	1010,995	12.080,091	2,59	AMORFO O IRREGULAR	0,39
34	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
35	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
36	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
37	239,998	3.599,941	1,13	REDONDO	0,89
38	769,395	10.213,014	2,15	AMORFO O IRREGULAR	0,47
39	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
40	93,41455	470,351773	1,22	REDONDO	0,82
41	17.715,85	541.892,24	6,79	AMORFO O IRREGULAR	0,15
42	313,730672	2.974,48	1,62	OVAL OBLONGO	0,62
43	196,066585	1.327,38	1,52	OVAL OBLONGO	0,66
44	870,010085	13.723,83	2,09	AMORFO O IRREGULAR	0,48
45	506,098811	6.578,55	1,76	RECTANGULAR	0,57
46	260,203811	1.583,21	1,84	RECTANGULAR	0,54
47	704,595366	16.662,92	1,54	OVAL OBLONGO	0,65
48	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
49	112,548125	820,425508	1,11	REDONDO	0,90
50	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
51	290,134918	2.548,12	1,62	OVAL OBLONGO	0,62
52	348,153376	4.311,31	1,50	OVAL OBLONGO	0,67
53	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
54	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
55	420,186202	7.201,23	1,40	OVAL-REDONDO	0,72
56	600,023412	9.903,30	1,70	OVAL OBLONGO	0,59
57	598,971316	11.697,44	1,56	OVAL OBLONGO	0,64
58	226,700313	1.549,28	1,62	OVAL OBLONGO	0,62
59	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
60	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
61	240,497946	2.710,88	1,30	OVAL-REDONDO	0,77
62	1.478,70	27.297,26	2,52	AMORFO O IRREGULAR	0,40
63	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
64	6.155,35	143.779,91	4,58	AMORFO O IRREGULAR	0,22
65	233,79012	2.640,56	1,28	OVAL-REDONDO	0,78
66	163,165241	1.399,25	1,23	REDONDO	0,81
67	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
68	233,168884	2.368,04	1,35	OVAL-REDONDO	0,74
69	353,260468	4.631,66	1,46	OVAL-REDONDO	0,68
70	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
71	673,876092	5.201,66	2,64	AMORFO O IRREGULAR	0,38
72	131,961247	861,441978	1,27	OVAL-REDONDO	0,79
73	3.256,42	100.246,80	2,90	AMORFO O IRREGULAR	0,34
74	163,808764	1.390,71	1,24	REDONDO	0,81
75	98,967524	473,258274	1,28	OVAL-REDONDO	0,78
76	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
77	295,197723	2.667,37	1,61	OVAL OBLONGO	0,62
78	173,061643	1.627,43	1,21	REDONDO	0,83
79	1.197,12	22.576,96	2,25	AMORFO O IRREGULAR	0,44
80	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
81	2.612,97	73.472,80	2,72	AMORFO O IRREGULAR	0,37
82	4.312,62	127.086,89	3,41	AMORFO O IRREGULAR	0,29
83	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
84	230,136701	2.138,67	1,40	OVAL-REDONDO	0,71
85	92,651693	448,389678	1,23	REDONDO	0,81
86	359,948724	5.396,44	1,38	OVAL-REDONDO	0,72
TOTAL	6147,923	1.353.386,669			

Fuente: autor

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Figura 6. Tabla cálculos microcuencia rio hato 1

N. PARCHES	O M	PARCHE M2	DI	FORMA	COMPACT A
1	1867,85	82.910,61	1,83	RECTANGULAR	0,55
2	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
3	265,473124	3.435,70	1,28	OVAL-REDONDO	0,78
4	2.996,62	80.503,15	2,98	AMORFO O IRREGUL	0,34
5	996,486005	18.432,86	2,07	AMORFO O IRREGUL	0,48
6	300,196897	4.505,11	1,26	OVAL-REDONDO	0,79
7	128,831125	1.054,92	1,12	REDONDO	0,89
8	406,318805	4.246,55	1,76	RECTANGULAR	0,57
9	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
10	240,497946	2.710,88	1,30	OVAL-REDONDO	0,77
11	340,413439	5.680,58	1,27	OVAL-REDONDO	0,78
12	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
13	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
14	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
15	480,078603	7.201,66	1,60	OVAL OBLONGO	0,63
16	1.500,10	22.496,92	2,82	AMORFO O IRREGUL	0,35
17	479,957586	7.197,22	1,60	OVAL OBLONGO	0,63
18	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
19	83,952304	384,670802	1,21	REDONDO	0,83
20	105,197269	598,114666	1,21	REDONDO	0,82
21	2.435,42	43.443,14	3,30	AMORFO O IRREGUL	0,30
22	236,249024	2.682,32	1,29	OVAL-REDONDO	0,78
23	480,130576	5.400,68	1,84	RECTANGULAR	0,54
24	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
25	457,725823	7.703,64	1,47	OVAL-REDONDO	0,68
26	540,199861	5.403,22	2,07	AMORFO O IRREGUL	0,48
27	105,119144	685,758574	1,13	REDONDO	0,88
28	413,658343	4.404,03	1,76	RECTANGULAR	0,57
29	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
30	1.802,36	44.689,90	2,41	AMORFO O IRREGUL	0,42
31	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
32	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
33	173,93698	1.728,97	1,18	REDONDO	0,85
34	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
35	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
36	359,993083	5.400,58	1,38	OVAL-REDONDO	0,72
37	419,993811	7.199,49	1,40	OVAL-REDONDO	0,72
38	359,989102	3.599,70	1,69	OVAL OBLONGO	0,59
39	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
40	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
41	290,828713	3.466,04	1,39	OVAL-REDONDO	0,72
42	1.144,25	19.554,67	2,31	AMORFO O IRREGUL	0,43
43	1.117,34	30.402,58	1,81	RECTANGULAR	0,55
44	178,205732	1.587,08	1,26	OVAL-REDONDO	0,79
45	501,211803	4.909,76	2,02	AMORFO O IRREGUL	0,50
46	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
47	365,481628	4.486,67	1,54	OVAL OBLONGO	0,65
48	455,339511	4.053,67	2,02	AMORFO O IRREGUL	0,50
49	286,252016	4.219,41	1,24	REDONDO	0,80
50	540,207018	12.601,03	1,36	OVAL-REDONDO	0,74
51	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
52	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
53	122,468909	763,070072	1,25	OVAL-REDONDO	0,80
54	97,211657	553,704702	1,17	REDONDO	0,86
55	480,028043	6.304,08	1,71	OVAL OBLONGO	0,59
56	296,748452	3.100,61	1,50	OVAL OBLONGO	0,67
57	180,325304	1.587,44	1,28	OVAL-REDONDO	0,78
58	4.715,25	160.672,83	3,32	AMORFO O IRREGUL	0,30
59	506,253108	7.054,48	1,70	OVAL OBLONGO	0,59
60	277,568961	4.017,25	1,24	REDONDO	0,81
61	119,589428	862,51686	1,15	REDONDO	0,87
62	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
63	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
64	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
65	1.049,21	21.940,30	2,00	RECTANGULAR	0,50
66	116,652372	860,401209	1,12	REDONDO	0,89
67	239,998	3.599,941	1,13	REDONDO	0,89
68	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
69	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
70	227,383728	2.094,79	1,40	OVAL-REDONDO	0,71
71	2.555,27	75.096,64	2,63	AMORFO O IRREGUL	0,38
72	153,813856	1.396,84	1,16	REDONDO	0,86
73	479,871446	7.795,52	1,53	OVAL OBLONGO	0,65
74	239,924676	2.696,72	1,30	OVAL-REDONDO	0,77
75	2.034,60	45.402,04	2,69	AMORFO O IRREGUL	0,37
76	634,23347	7.658,90	2,04	AMORFO O IRREGUL	0,49
77	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
78	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
79	212,921331	2.049,21	1,33	OVAL-REDONDO	0,75
80	282,800675	1.805,07	1,88	RECTANGULAR	0,53
81	278,405335	3.376,57	1,35	OVAL-REDONDO	0,74
82	1.090,72	20.605,94	2,14	AMORFO O IRREGUL	0,47
83	2.794,19	114.955,89	2,32	AMORFO O IRREGUL	0,43
84	28.432,42	1.237.072,89	7,21	AMORFO O IRREGUL	0,14
85	108,116553	719,420938	1,14	REDONDO	0,88
86	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
87	155,86284	1.248,95	1,24	REDONDO	0,80
88	2.078,22	45.947,89	2,73	AMORFO O IRREGUL	0,37
89	105,967028	689,477815	1,14	REDONDO	0,88
90	300,025056	3.600,96	1,41	OVAL-REDONDO	0,71
91	234,297267	3.554,60	1,11	REDONDO	0,90
92	79,42127	282,853923	1,33	OVAL-REDONDO	0,75
93	591,971061	9.337,92	1,73	OVAL OBLONGO	0,58
94	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
95	584,688013	11.570,68	1,53	OVAL OBLONGO	0,65

Fuente: autor

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Figura 7. Tabla cálculos microcuenca rio hat 2

97	1.231,37	20.249,96	2,44	AMORFO O IRREGUL	0,41	146	175,692458	1.735,42	1,19	REDONDO	0,84
98	1.355,13	27.310,03	2,31	AMORFO O IRREGUL	0,43	147	58.993,33	2.348.603,76	10,86	AMORFO O IRREGUL	0,09
99	872,483399	11.557,24	2,29	AMORFO O IRREGUL	0,44	148	922,852869	30.126,86	1,50	OVAL OBLONGO	0,67
100	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89	149	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
101	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89	150	240,497946	2.710,88	1,30	OVAL-REDONDO	0,77
102	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84	151	810,339127	11.772,11	2,11	AMORFO O IRREGUL	0,47
103	94,158262	279,120698	1,59	OVAL OBLONGO	0,63	152	108,468904	705,983757	1,15	REDONDO	0,87
104	927,090506	19.155,18	1,89	RECTANGULAR	0,53	153	187,298755	1.850,40	1,23	REDONDO	0,81
105	300,002494	3.600,00	1,41	OVAL-REDONDO	0,71	154	77,716765	257,925584	1,37	OVAL-REDONDO	0,73
106	215,332929	2.854,93	1,14	REDONDO	0,88	155	6.745,08	174.545,07	4,55	AMORFO O IRREGUL	0,22
107	108,898829	720,423934	1,14	REDONDO	0,87	156	628,16396	5.039,73	2,50	AMORFO O IRREGUL	0,40
108	107,039723	718,844814	1,13	REDONDO	0,89	157	240,255679	1.011,62	2,13	AMORFO O IRREGUL	0,47
109	1537,70	29.937,30	2,51	AMORFO O IRREGUL	0,40	158	112,133533	775,779178	1,14	REDONDO	0,88
110	289,945032	3.596,75	1,36	OVAL-REDONDO	0,73	159	5.522,46	143.070,36	4,12	AMORFO O IRREGUL	0,24
111	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89	160	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
112	451,822888	6.355,30	1,60	OVAL OBLONGO	0,63	161	233,552791	2.527,16	1,31	OVAL-REDONDO	0,76
113	4.133,73	119.427,51	3,37	AMORFO O IRREGUL	0,30	162	189,204001	1.888,76	1,23	REDONDO	0,81
114	212,32	1.910,50	1,37	OVAL-REDONDO	0,73	163	296,197634	2.677,62	1,61	OVAL OBLONGO	0,62
115	83,951615	359,261483	1,25	OVAL-REDONDO	0,80	164	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
116	456,382818	6.604,12	1,58	OVAL OBLONGO	0,63	165	1.289,77	30.574,52	2,08	AMORFO O IRREGUL	0,48
117	99,258355	610,70478	1,13	REDONDO	0,88	166	204,042681	1.482,76	1,49	OVAL-REDONDO	0,67
118	73,643907	230,736768	1,37	OVAL-REDONDO	0,73	167	192,847079	1.927,60	1,24	REDONDO	0,81
119	57,83775	142,117887	1,37	OVAL-REDONDO	0,73	168	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
120	971,563985	16.720,88	2,12	AMORFO O IRREGUL	0,47	169	500,468241	8.690,65	1,51	OVAL OBLONGO	0,66
121	633,393234	15.137,76	1,45	OVAL-REDONDO	0,69	170	703,61746	13.395,83	1,71	OVAL OBLONGO	0,58
122	1.040,29	19.413,80	2,11	AMORFO O IRREGUL	0,47	171	1.421,02	32.722,36	2,22	AMORFO O IRREGUL	0,45
123	1.004,19	12.834,62	2,50	AMORFO O IRREGUL	0,40	172	246,375219	1.996,85	1,56	OVAL OBLONGO	0,64
124	263,918368	2.745,54	1,42	OVAL-REDONDO	0,70	173	290,107547	4.137,15	1,27	OVAL-REDONDO	0,79
125	1.380,60	32.758,35	2,15	AMORFO O IRREGUL	0,46	174	158,909001	1.182,58	1,30	OVAL-REDONDO	0,77
126	352,056022	6.421,97	1,24	REDONDO	0,81	175	1.483,28	31.693,03	2,35	AMORFO O IRREGUL	0,43
127	129,308085	964,386492	1,17	REDONDO	0,85	176	947,454147	22.426,97	1,78	RECTANGULAR	0,56
128	177,522645	1.791,05	1,18	REDONDO	0,85	177	98,60957	417,143147	1,36	OVAL-REDONDO	0,73
129	87,995938	332,119098	1,36	OVAL-REDONDO	0,73	178	332,151289	5.647,36	1,25	OVAL-REDONDO	0,80
130	100,427673	625,303851	1,13	REDONDO	0,88	179	299,97463	2.700,69	1,63	OVAL OBLONGO	0,61
131	209,657509	2.174,89	1,27	OVAL-REDONDO	0,79	180	313,597426	3.902,45	1,42	OVAL-REDONDO	0,71
132	299,98196	4.498,45	1,26	OVAL-REDONDO	0,79	181	720,519887	10.820,21	1,95	RECTANGULAR	0,51
133	420,031618	6.299,54	1,49	OVAL-REDONDO	0,67	182	1.067,14	13.089,48	2,63	AMORFO O IRREGUL	0,38
134	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89	183	300,099942	3.600,91	1,41	OVAL-REDONDO	0,71
135	418,835181	6.345,04	1,48	OVAL-REDONDO	0,67	184	403,082438	5.715,22	1,50	OVAL OBLONGO	0,66
136	3.906,75	81.147,79	3,87	AMORFO O IRREGUL	0,26	185	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
137	574,476147	11.625,40	1,50	OVAL OBLONGO	0,67	186	823,649403	20.252,87	1,63	OVAL OBLONGO	0,61
138	2.285,35	45.080,61	3,04	AMORFO O IRREGUL	0,33	187	107,108172	706,936702	1,14	REDONDO	0,88
139	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84	188	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
140	251,021015	2.759,88	1,35	OVAL-REDONDO	0,74	189	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
141	1.078,54	25.275,49	1,91	RECTANGULAR	0,52	190	119,936	899,038	1,13	REDONDO	0,89
142	1.008,57	17.522,03	2,15	AMORFO O IRREGUL	0,47	191	180,122217	1.802,74	1,20	REDONDO	0,84
143	402,264477	5.911,41	1,48	OVAL-REDONDO	0,68	192	1.212,96	32.491,88	1,90	RECTANGULAR	0,53
144	117,459742	889,278024	1,11	REDONDO	0,90	193	541,774965	9.704,38	1,55	OVAL OBLONGO	0,64

Fuente: autor

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Figura8.Tabla cálculos microcuenca rio hato 3

195	112,960482	794,462838	1,13	REDONDO	0,88
196	146,81946	807,921589	1,46	OVAL-REDONDO	0,69
197	2,879,89	82,113,73	2,84	AMORFO O IRREGUL	0,35
198	192,278503	1,249,63	1,53	OVAL OBLONGO	0,65
199	360,000767	5,399,89	1,38	OVAL-REDONDO	0,72
200	411,872859	3,111,58	2,08	AMORFO O IRREGUL	0,48
201	480,683759	7,648,92	1,55	OVAL OBLONGO	0,64
202	236,405901	1,590,91	1,67	OVAL OBLONGO	0,60
203	240,497946	2,710,88	1,30	OVAL-REDONDO	0,77
204	351,353432	5,140,65	1,38	OVAL-REDONDO	0,72
205	856,112191	33,571,10	1,32	OVAL-REDONDO	0,76
TOTAL	206,043,91	6,029,819,36			

Fuente: autor

ANEXO B
DATOS ESTADISTICOS

Tabla 1. Cálculos calidad ambiental y correlación DI1

JABONERA								
DI1	CA	(DI) ²	ΣDI*CA	(x- \bar{x})	(y- \hat{y})	(x- \bar{x}) ²	(y- \hat{y}) ²	(x- \bar{x})(y- \hat{y})
1,13	0,87	1,27	0,98	-0,53	0,40	0,28	0,16	-0,21
1,13	0,87	1,27	0,98	-0,53	0,40	0,28	0,16	-0,21
1,13	0,87	1,27	0,98	-0,53	0,40	0,28	0,16	-0,21
1,13	0,87	1,27	0,98	-0,53	0,40	0,28	0,16	-0,21
1,13	0,87	1,27	0,98	-0,53	0,40	0,28	0,16	-0,21
1,13	0,87	1,27	0,98	-0,53	0,40	0,28	0,16	-0,21
1,13	0,87	1,27	0,98	-0,53	0,40	0,28	0,16	-0,21
1,13	0,87	1,27	0,98	-0,53	0,40	0,28	0,16	-0,21
1,13	0,87	1,27	0,98	-0,53	0,40	0,28	0,16	-0,21
1,20	0,80	1,43	0,96	-0,46	0,33	0,21	0,11	-0,15
1,20	0,80	1,43	0,96	-0,46	0,33	0,21	0,11	-0,15
1,20	0,80	1,43	0,96	-0,46	0,33	0,21	0,11	-0,15
1,30	0,70	1,68	0,91	-0,36	0,23	0,13	0,05	-0,08
1,34	0,66	1,79	0,88	-0,32	0,19	0,10	0,04	-0,06
1,37	0,63	1,89	0,86	-0,29	0,16	0,08	0,03	-0,05
1,38	0,62	1,90	0,85	-0,28	0,15	0,08	0,02	-0,04
1,47	0,53	2,16	0,78	-0,19	0,06	0,04	0,004	-0,01
1,50	0,50	2,25	0,75	-0,16	0,03	0,03	0,001	-0,005
1,59	0,41	2,53	0,65	-0,07	-0,06	0,01	0,004	0,004
1,62	0,38	2,62	0,62	-0,04	-0,09	0,0017	0,01	0,004
1,68	0,32	2,83	0,54	0,02	-0,15	0,0005	0,02	-0,003
1,69	0,31	2,85	0,52	0,03	-0,16	0,0008	0,03	-0,005
1,71	0,29	2,91	0,49	0,05	-0,18	0,0022	0,03	-0,01
1,82	0,18	3,31	0,33	0,16	-0,29	0,03	0,08	-0,05
1,95	0,07	3,78	0,14	0,29	-0,40	0,08	0,16	-0,11
1,96	0,06	3,83	0,12	0,30	-0,41	0,09	0,17	-0,12
2,19	0,00	4,80	0,00	0,53	-0,47	0,28	0,22	-0,25
2,31	0,00	5,34	0,00	0,65	-0,47	0,42	0,22	-0,31
2,55	0,00	6,52	0,00	0,89	-0,47	0,80	0,22	-0,42
2,64	0,00	6,98	0,00	0,98	-0,47	0,96	0,22	-0,46
2,66	0,00	7,07	0,00	1,00	-0,47	1,00	0,22	-0,47
2,79	0,00	7,76	0,00	1,13	-0,47	1,27	0,22	-0,53
3,13	0,00	9,80	0,00	1,47	-0,47	2,16	0,22	-0,69
53,25	15,0	99,1	19,2			10,5	3,8	-5,8

Fuente: autor

Tabla2. Cálculos calidad ambiental y correlación DI2

PAJUILA								
DI2	CA	(DI) ²	∑DI*CA	(x- \bar{x})	(y- \hat{y})	(x- \bar{x}) ²	(y- \hat{y}) ²	(x- \bar{x})(y- \hat{y})
1,12	0,88	1,25	0,98	-0,31	0,19	0,10	0,04	-0,06
1,12	0,88	1,26	0,99	-0,31	0,19	0,09	0,04	-0,06
1,13	0,87	1,27	0,98	-0,30	0,18	0,09	0,03	-0,05
1,13	0,87	1,27	0,98	-0,30	0,18	0,09	0,03	-0,05
1,13	0,87	1,27	0,98	-0,30	0,18	0,09	0,03	-0,05
1,13	0,87	1,27	0,98	-0,30	0,18	0,09	0,03	-0,05
1,13	0,87	1,27	0,98	-0,30	0,18	0,09	0,03	-0,05
1,13	0,87	1,27	0,98	-0,30	0,18	0,09	0,03	-0,05
1,13	0,87	1,27	0,98	-0,30	0,18	0,09	0,03	-0,05
1,13	0,87	1,27	0,98	-0,30	0,18	0,09	0,03	-0,05
1,14	0,86	1,30	0,98	-0,29	0,17	0,08	0,03	-0,05
1,16	0,84	1,34	0,97	-0,27	0,15	0,07	0,02	-0,04
1,20	0,80	1,43	0,96	-0,23	0,11	0,05	0,01	-0,03
1,20	0,80	1,43	0,96	-0,23	0,11	0,05	0,01	-0,03
1,20	0,80	1,43	0,96	-0,23	0,11	0,05	0,01	-0,03
1,26	0,74	1,59	0,93	-0,17	0,05	0,03	0,003	-0,01
1,26	0,74	1,60	0,94	-0,17	0,05	0,03	0,003	-0,01
1,28	0,72	1,65	0,92	-0,15	0,03	0,02	0,0009	-0,004
1,30	0,70	1,68	0,91	-0,13	0,01	0,02	0,0001	-0,001
1,30	0,70	1,70	0,91	-0,13	0,01	0,02	0,0001	-0,001
1,31	0,69	1,72	0,91	-0,12	0,00	0,01	0,0000	0,000
1,32	0,68	1,74	0,90	-0,11	-0,01	0,01	0,0001	0,001
1,34	0,66	1,78	0,88	-0,09	-0,03	0,01	0,0009	0,003
1,34	0,66	1,80	0,89	-0,09	-0,03	0,01	0,0009	0,003
1,37	0,63	1,88	0,86	-0,06	-0,06	0,003	0,004	0,003
1,37	0,63	1,89	0,87	-0,06	-0,06	0,003	0,004	0,003
1,40	0,60	1,96	0,84	-0,03	-0,09	0,001	0,01	0,003
1,41	0,59	2,00	0,83	-0,02	-0,10	0,0003	0,01	0,002
1,49	0,51	2,21	0,76	0,06	-0,18	0,003	0,03	-0,01
1,51	0,49	2,28	0,74	0,08	-0,20	0,01	0,04	-0,02
1,61	0,39	2,60	0,63	0,18	-0,30	0,03	0,09	-0,05
2,60	0,00	6,75	0,00	1,17	-0,69	1,37	0,48	-0,81
5,12	0,00	26,23	0,00	3,69	-0,69	13,63	0,48	-2,55
45,6	22,1	81,4	27,4			16,4	1,5	-4,1

Fuente: autor

Tabla3. Cálculos calidad ambiental y correlación DI3

EL MACHO								
DI3	CA	(DI) ²	∑DI*CA	(x- \bar{x})	(y- \hat{y})	(x- \bar{x}) ²	(y- \hat{y}) ²	(x- \bar{x})(y- \hat{y})
1,61	0,39	2,60	0,63	-0,05	0,02	0,002	0,0004	-0,001
1,57	0,43	2,47	0,68	-0,09	0,06	0,01	0,004	-0,005
1,61	0,39	2,60	0,63	-0,05	0,02	0,002	0,0004	-0,001
1,95	0,07	3,81	0,14	0,29	-0,30	0,08	0,090	-0,087
1,59	0,41	2,52	0,65	-0,07	0,04	0,01	0,002	-0,003
1,13	0,87	1,27	0,98	-0,53	0,50	0,28	0,250	-0,266
2,19	0,00	4,78	0,00	0,53	-0,37	0,28	0,137	-0,195
11,65	2,56	20,05	3,70			0,66	0,48	-0,56

Fuente: autor

figura2. Cálculos calidad ambiental y correlación DI4

1,24	0,76	1,53	0,94	-0,25	0,17	0,06	0,03	-0,04	1,45	0,55	2,11	0,80	-0,04	-0,04	0,00	0,002	0,002
1,25	0,75	1,57	0,94	-0,24	0,16	0,06	0,03	-0,04	1,50	0,50	2,24	0,75	0,01	-0,09	0,00	0,01	-0,001
1,26	0,74	1,59	0,93	-0,23	0,15	0,05	0,02	-0,03	1,50	0,50	2,24	0,75	0,01	-0,09	0,00	0,01	-0,001
1,26	0,74	1,59	0,93	-0,23	0,15	0,05	0,02	-0,03	1,50	0,50	2,26	0,75	0,01	-0,09	0,00	0,01	-0,001
1,28	0,72	1,64	0,92	-0,21	0,13	0,04	0,02	-0,03	1,51	0,49	2,27	0,74	0,02	-0,10	0,00	0,01	-0,002
1,29	0,71	1,67	0,92	-0,20	0,12	0,04	0,01	-0,02	1,51	0,49	2,29	0,74	0,02	-0,10	0,00	0,01	-0,002
1,29	0,71	1,68	0,92	-0,20	0,12	0,04	0,01	-0,02	1,52	0,48	2,32	0,73	0,03	-0,11	0,00	0,01	-0,003
1,30	0,70	1,69	0,91	-0,19	0,11	0,04	0,01	-0,02	1,59	0,41	2,52	0,65	0,10	-0,18	0,01	0,03	-0,02
1,30	0,70	1,70	0,91	-0,19	0,11	0,04	0,01	-0,02	1,60	0,40	2,55	0,64	0,11	-0,19	0,01	0,04	-0,02
1,30	0,70	1,70	0,91	-0,19	0,11	0,04	0,01	-0,02	1,60	0,40	2,55	0,64	0,11	-0,19	0,01	0,04	-0,02
1,30	0,70	1,70	0,91	-0,19	0,11	0,03	0,01	-0,02	1,61	0,39	2,59	0,63	0,12	-0,20	0,01	0,04	-0,02
1,30	0,70	1,70	0,91	-0,19	0,11	0,03	0,01	-0,02	1,62	0,38	2,63	0,62	0,13	-0,21	0,02	0,04	-0,03
1,30	0,70	1,70	0,91	-0,19	0,11	0,03	0,01	-0,02	1,63	0,37	2,65	0,60	0,14	-0,22	0,02	0,05	-0,03
1,30	0,70	1,70	0,91	-0,19	0,11	0,03	0,01	-0,02	1,63	0,37	2,65	0,60	0,14	-0,22	0,02	0,05	-0,03
1,31	0,69	1,71	0,90	-0,18	0,10	0,03	0,01	-0,02	1,63	0,37	2,65	0,60	0,14	-0,22	0,02	0,05	-0,03
1,32	0,68	1,75	0,90	-0,17	0,09	0,03	0,01	-0,02	1,63	0,37	2,65	0,60	0,14	-0,22	0,02	0,05	-0,03
1,33	0,67	1,77	0,89	-0,16	0,08	0,03	0,01	-0,01	1,63	0,37	2,65	0,60	0,14	-0,22	0,02	0,05	-0,03
1,35	0,35	1,82	0,47	-0,14	-0,24	0,02	0,06	0,03	1,63	0,37	2,65	0,60	0,14	-0,22	0,02	0,05	-0,03
1,35	0,35	1,83	0,47	-0,14	-0,24	0,02	0,06	0,03	1,63	0,37	2,65	0,60	0,14	-0,22	0,02	0,05	-0,03
1,36	0,64	1,84	0,87	-0,13	0,05	0,02	0,003	-0,01	1,65	0,35	2,71	0,58	0,16	-0,24	0,02	0,06	-0,04
1,36	0,64	1,84	0,87	-0,13	0,05	0,02	0,003	-0,01	1,68	0,32	2,83	0,54	0,19	-0,27	0,04	0,07	-0,05
1,37	0,63	1,88	0,86	-0,12	0,04	0,01	0,002	-0,005	1,69	0,31	2,87	0,52	0,20	-0,28	0,04	0,08	-0,06
1,37	0,63	1,89	0,87	-0,12	0,04	0,01	0,002	-0,005	1,70	0,30	2,89	0,51	0,21	-0,29	0,04	0,08	-0,06
1,38	0,62	1,90	0,86	-0,11	0,03	0,01	0,001	-0,003	1,70	0,30	2,90	0,51	0,21	-0,29	0,04	0,08	-0,06
1,38	0,62	1,91	0,86	-0,11	0,03	0,01	0,001	-0,003	1,71	0,29	2,92	0,50	0,22	-0,30	0,05	0,09	-0,07
1,38	0,62	1,91	0,86	-0,11	0,03	0,01	0,001	-0,003	1,75	0,25	3,05	0,44	0,26	-0,34	0,07	0,12	-0,09
1,38	0,62	1,91	0,86	-0,11	0,03	0,01	0,001	-0,003	1,76	0,24	3,09	0,42	0,27	-0,35	0,07	0,12	-0,09
1,38	0,62	1,91	0,86	-0,11	0,03	0,01	0,001	-0,003	1,77	0,23	3,12	0,41	0,28	-0,36	0,08	0,13	-0,10
1,38	0,62	1,92	0,86	-0,11	0,03	0,01	0,001	-0,003	1,78	0,22	3,18	0,39	0,29	-0,37	0,09	0,14	-0,11
1,39	0,61	1,93	0,85	-0,10	0,02	0,01	0,0004	-0,002	1,79	0,21	3,20	0,38	0,30	-0,38	0,09	0,14	-0,11
1,39	0,61	1,94	0,85	-0,10	0,02	0,01	0,0004	-0,002	1,80	0,20	3,22	0,36	0,31	-0,39	0,09	0,15	-0,12
1,40	0,60	1,95	0,84	-0,09	0,01	0,01	0,0001	-0,001	1,80	0,20	3,22	0,36	0,31	-0,39	0,09	0,15	-0,12
1,41	0,59	1,99	0,83	-0,08	0,00	0,01	0,000	0,000	1,81	0,19	3,29	0,34	0,32	-0,40	0,10	0,16	-0,13
1,41	0,59	1,99	0,83	-0,08	0,00	0,01	0,000	0,000	1,85	0,15	3,42	0,28	0,36	-0,44	0,13	0,19	-0,16
1,41	0,59	1,99	0,83	-0,08	0,00	0,01	0,000	0,000	1,87	0,13	3,50	0,24	0,38	-0,46	0,15	0,21	-0,18
1,41	0,59	1,99	0,83	-0,08	0,00	0,01	0,000	0,000	1,90	0,11	3,59	0,21	0,41	-0,48	0,16	0,23	-0,19
1,41	0,59	1,99	0,83	-0,08	0,00	0,01	0,000	0,000	1,96	0,06	3,84	0,12	0,47	-0,53	0,22	0,28	-0,25
1,41	0,59	1,99	0,83	-0,08	0,00	0,01	0,000	0,000	1,96	0,06	3,85	0,12	0,47	-0,53	0,22	0,28	-0,25

Fuente: autor

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Figura3. Cálculos calidad ambiental y correlación DI4

1,96	0,06	3,85	0,12	0,47	-0,53	0,22	0,28	-0,25
1,97	0,05	3,86	0,10	0,48	-0,54	0,23	0,29	-0,26
2,03	0,02	4,10	0,04	0,54	-0,57	0,29	0,32	-0,31
2,12	0,00	4,51	0,00	0,63	-0,59	0,40	0,35	-0,37
2,12	0,00	4,51	0,00	0,63	-0,59	0,40	0,35	-0,37
2,14	0,00	4,60	0,00	0,65	-0,59	0,43	0,35	-0,39
2,16	0,00	4,65	0,00	0,67	-0,59	0,45	0,35	-0,39
2,19	0,00	4,79	0,00	0,70	-0,59	0,49	0,35	-0,41
2,20	0,00	4,82	0,00	0,71	-0,59	0,50	0,35	-0,42
2,25	0,00	5,08	0,00	0,76	-0,59	0,58	0,35	-0,45
2,33	0,00	5,43	0,00	0,84	-0,59	0,71	0,35	-0,50
2,44	0,00	5,97	0,00	0,95	-0,59	0,91	0,35	-0,56
2,72	0,00	7,42	0,00	1,23	-0,59	1,52	0,35	-0,73
2,83	0,00	8,03	0,00	1,34	-0,59	1,81	0,35	-0,79
2,94	0,00	8,65	0,00	1,45	-0,59	2,11	0,35	-0,86
3,82	0,00	14,60	0,00	2,33	-0,59	5,44	0,35	-1,38
4,50	0,00	20,28	0,00	3,01	-0,59	9,08	0,35	-1,78
4,53	0,00	20,49	0,00	3,04	-0,59	9,22	0,35	-1,79
5,23	0,00	27,36	0,00	3,74	-0,59	13,99	0,35	-2,21
251,06	98,94	435,55	124,04			60,37	15,31	-23,81

Fuente: autor

Figura5. Cálculos calidad ambiental y correlación DI5

2,15	0,00	4,61	0,00	0,55	-0,57	0,30	0,32	-0,31
2,25	0,00	5,05	0,00	0,65	-0,57	0,42	0,32	-0,37
2,52	0,00	6,37	0,00	0,92	-0,57	0,86	0,32	-0,53
2,55	0,00	6,52	0,00	0,95	-0,57	0,91	0,32	-0,54
2,59	0,00	6,73	0,00	0,99	-0,57	0,99	0,32	-0,57
2,64	0,00	6,95	0,00	1,04	-0,57	1,07	0,32	-0,59
2,72	0,00	7,39	0,00	1,12	-0,57	1,25	0,32	-0,64
2,90	0,00	8,42	0,00	1,30	-0,57	1,69	0,32	-0,74
3,41	0,00	11,65	0,00	1,81	-0,57	3,29	0,32	-1,03
3,86	0,00	14,86	0,00	2,26	-0,57	5,09	0,32	-1,29
4,58	0,00	20,97	0,00	2,98	-0,57	8,88	0,32	-1,70
6,79	0,00	46,09	0,00	5,19	-0,57	26,92	0,32	-2,96
138,02	48,97	282,81	61,07			61,30	8,93	-17,53

Fuente: autor

Fuente: autor

Figura7. Cálculos calidad ambiental y correlación DI6

1,24	0,76	1,55	0,94	-0,41	0,23	0,17	0,05	-0,09	1,40	0,60	1,96	0,84	-0,25	0,07	0,06	0,005	-0,02
1,24	0,76	1,55	0,95	-0,41	0,23	0,16	0,05	-0,09	1,41	0,59	1,99	0,83	-0,24	0,06	0,06	0,004	-0,01
1,25	0,75	1,55	0,94	-0,40	0,22	0,16	0,05	-0,09	1,41	0,59	1,99	0,83	-0,24	0,06	0,06	0,004	-0,01
1,25	0,75	1,56	0,94	-0,40	0,22	0,16	0,05	-0,09	1,41	0,59	1,99	0,83	-0,24	0,06	0,06	0,004	-0,01
1,25	0,75	1,56	0,94	-0,40	0,22	0,16	0,05	-0,09	1,42	0,58	2,01	0,82	-0,23	0,05	0,05	0,002	-0,01
1,26	0,74	1,59	0,93	-0,39	0,21	0,15	0,04	-0,08	1,42	0,58	2,02	0,82	-0,23	0,05	0,05	0,002	-0,01
1,26	0,74	1,59	0,93	-0,39	0,21	0,15	0,04	-0,08	1,45	0,55	2,11	0,80	-0,20	0,02	0,04	0,0004	-0,004
1,26	0,74	1,59	0,93	-0,39	0,21	0,15	0,04	-0,08	1,46	0,54	2,12	0,79	-0,19	0,01	0,04	0,0001	-0,002
1,27	0,73	1,61	0,93	-0,38	0,20	0,15	0,04	-0,08	1,46	0,54	2,12	0,79	-0,19	0,01	0,04	0,0001	-0,002
1,27	0,73	1,62	0,93	-0,38	0,20	0,14	0,04	-0,08	1,47	0,53	2,16	0,78	-0,18	0,00	0,03	0,000	0,000
1,27	0,73	1,62	0,93	-0,38	0,20	0,14	0,04	-0,08	1,48	0,52	2,18	0,77	-0,17	-0,01	0,03	0,0001	0,002
1,28	0,72	1,63	0,92	-0,37	0,19	0,14	0,04	-0,07	1,48	0,52	2,20	0,77	-0,17	-0,01	0,03	0,0001	0,002
1,28	0,72	1,63	0,92	-0,37	0,19	0,14	0,04	-0,07	1,49	0,51	2,23	0,76	-0,16	-0,02	0,02	0,0004	0,003
1,29	0,71	1,66	0,91	-0,36	0,18	0,13	0,03	-0,07	1,49	0,51	2,23	0,76	-0,16	-0,02	0,02	0,0004	0,003
1,30	0,70	1,70	0,91	-0,35	0,17	0,12	0,03	-0,06	1,50	0,50	2,25	0,75	-0,15	-0,03	0,02	0,001	0,005
1,30	0,70	1,70	0,91	-0,35	0,17	0,12	0,03	-0,06	1,50	0,50	2,26	0,75	-0,15	-0,03	0,02	0,001	0,004
1,30	0,70	1,70	0,91	-0,35	0,17	0,12	0,03	-0,06	1,50	0,50	2,26	0,75	-0,15	-0,03	0,02	0,001	0,004
1,30	0,70	1,70	0,91	-0,35	0,17	0,12	0,03	-0,06	1,50	0,50	2,26	0,75	-0,15	-0,03	0,02	0,001	0,004
1,30	0,70	1,70	0,91	-0,35	0,17	0,12	0,03	-0,06	1,51	0,49	2,29	0,74	-0,14	-0,04	0,02	0,002	0,01
1,31	0,69	1,72	0,90	-0,34	0,16	0,12	0,03	-0,05	1,53	0,47	2,35	0,72	-0,12	-0,06	0,01	0,004	0,01
1,32	0,68	1,74	0,90	-0,33	0,15	0,11	0,02	-0,05	1,53	0,47	2,35	0,72	-0,12	-0,06	0,01	0,004	0,01
1,33	0,67	1,76	0,89	-0,32	0,14	0,10	0,02	-0,05	1,53	0,47	2,35	0,72	-0,12	-0,06	0,01	0,004	0,01
1,33	0,67	1,77	0,89	-0,32	0,14	0,10	0,02	-0,04	1,54	0,46	2,37	0,71	-0,11	-0,07	0,01	0,005	0,01
1,35	0,65	1,82	0,88	-0,30	0,12	0,09	0,01	-0,04	1,55	0,45	2,40	0,70	-0,10	-0,08	0,01	0,01	0,01
1,35	0,65	1,83	0,88	-0,30	0,12	0,09	0,01	-0,04	1,55	0,45	2,41	0,70	-0,10	-0,08	0,01	0,01	0,01
1,36	0,64	1,84	0,87	-0,29	0,11	0,09	0,01	-0,03	1,56	0,44	2,42	0,68	-0,09	-0,09	0,01	0,01	0,01
1,36	0,64	1,85	0,87	-0,29	0,11	0,08	0,01	-0,03	1,58	0,42	2,51	0,67	-0,07	-0,11	0,004	0,01	0,01
1,36	0,64	1,86	0,87	-0,29	0,11	0,08	0,01	-0,03	1,59	0,41	2,53	0,65	-0,06	-0,12	0,004	0,01	0,01
1,36	0,64	1,86	0,87	-0,29	0,11	0,08	0,01	-0,03	1,60	0,40	2,55	0,64	-0,05	-0,13	0,003	0,02	0,01
1,37	0,63	1,86	0,86	-0,28	0,10	0,08	0,01	-0,03	1,60	0,40	2,56	0,64	-0,05	-0,13	0,003	0,02	0,01
1,37	0,63	1,87	0,86	-0,28	0,10	0,08	0,01	-0,03	1,61	0,39	2,61	0,63	-0,04	-0,14	0,001	0,02	0,005
1,37	0,63	1,87	0,86	-0,28	0,10	0,08	0,01	-0,03	1,63	0,37	2,65	0,60	-0,02	-0,16	0,0005	0,03	0,003
1,37	0,63	1,88	0,86	-0,28	0,10	0,08	0,01	-0,03	1,63	0,37	2,67	0,60	-0,02	-0,16	0,0003	0,03	0,003
1,38	0,62	1,91	0,86	-0,27	0,09	0,07	0,01	-0,02	1,67	0,33	2,80	0,55	0,02	-0,20	0,0005	0,04	-0,004
1,38	0,62	1,91	0,86	-0,27	0,09	0,07	0,01	-0,02	1,69	0,31	2,86	0,52	0,04	-0,22	0,002	0,05	-0,01
1,38	0,62	1,91	0,86	-0,27	0,09	0,07	0,01	-0,02	1,70	0,30	2,89	0,51	0,05	-0,23	0,003	0,05	-0,01
1,39	0,61	1,94	0,85	-0,26	0,08	0,07	0,01	-0,02	1,71	0,29	2,91	0,49	0,06	-0,24	0,003	0,06	-0,01
1,40	0,60	1,95	0,84	-0,25	0,07	0,06	0,005	-0,02	1,71	0,29	2,94	0,50	0,06	-0,24	0,004	0,06	-0,02

Fuente: autor

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Figura8. Cálculos calidad ambiental y correlación DI6

1,73	0,27	2,99	0,47	0,08	-0,26	0,01	0,07	-0,02	2,63	0,00	6,92	0,00	0,98	-0,53	0,96	0,28	-0,52
1,76	0,24	3,09	0,42	0,11	-0,29	0,01	0,08	-0,03	2,63	0,00	6,92	0,00	0,98	-0,53	0,96	0,28	-0,52
1,76	0,24	3,09	0,42	0,11	-0,29	0,01	0,08	-0,03	2,69	0,00	7,26	0,00	1,04	-0,53	1,09	0,28	-0,55
1,78	0,22	3,19	0,39	0,13	-0,31	0,02	0,10	-0,04	2,73	0,00	7,48	0,00	1,08	-0,53	1,18	0,28	-0,58
1,81	0,19	3,27	0,34	0,16	-0,34	0,02	0,12	-0,05	2,82	0,00	7,96	0,00	1,17	-0,53	1,37	0,28	-0,62
1,83	0,17	3,35	0,31	0,18	-0,36	0,03	0,13	-0,06	2,84	0,00	8,04	0,00	1,19	-0,53	1,40	0,28	-0,63
1,84	0,16	3,40	0,29	0,19	-0,37	0,04	0,14	-0,07	2,98	0,00	8,88	0,00	1,33	-0,53	1,77	0,28	-0,70
1,88	0,13	3,53	0,23	0,23	-0,41	0,05	0,16	-0,09	3,04	0,00	9,22	0,00	1,39	-0,53	1,92	0,28	-0,73
1,89	0,12	3,57	0,23	0,24	-0,41	0,06	0,17	-0,10	3,30	0,00	10,86	0,00	1,65	-0,53	2,71	0,28	-0,87
1,90	0,11	3,60	0,21	0,25	-0,42	0,06	0,18	-0,10	3,32	0,00	11,01	0,00	1,67	-0,53	2,78	0,28	-0,88
1,91	0,10	3,66	0,19	0,26	-0,43	0,07	0,18	-0,11	3,37	0,00	11,39	0,00	1,72	-0,53	2,97	0,28	-0,91
1,95	0,07	3,82	0,14	0,30	-0,46	0,09	0,21	-0,14	3,87	0,00	14,97	0,00	2,22	-0,53	4,92	0,28	-1,18
2,00	0,04	3,99	0,08	0,35	-0,49	0,12	0,24	-0,17	4,12	0,00	16,96	0,00	2,47	-0,53	6,09	0,28	-1,31
2,02	0,03	4,07	0,05	0,37	-0,51	0,14	0,26	-0,19	4,55	0,00	20,74	0,00	2,90	-0,53	8,44	0,28	-1,54
2,02	0,03	4,07	0,05	0,37	-0,51	0,14	0,26	-0,19	7,21	0,00	52,00	0,00	5,56	-0,53	30,93	0,28	-2,95
2,04	0,02	4,18	0,04	0,39	-0,51	0,16	0,26	-0,20	10,86	0,00	117,92	0,00	9,21	-0,53	84,81	0,28	-4,88
2,07	0,01	4,29	0,02	0,42	-0,52	0,18	0,27	-0,22	337,80	108,743	743,64	137,61	187,00	22,15	-41,58		
2,07	0,01	4,30	0,02	0,42	-0,52	0,18	0,27	-0,22									
2,08	0,00	4,33	0,00	0,43	-0,53	0,19	0,28	-0,23									
2,08	0,00	4,34	0,00	0,43	-0,53	0,19	0,28	-0,23									
2,11	0,00	4,44	0,00	0,46	-0,53	0,21	0,28	-0,24									
2,11	0,00	4,44	0,00	0,46	-0,53	0,21	0,28	-0,24									
2,12	0,00	4,49	0,00	0,47	-0,53	0,22	0,28	-0,25									
2,13	0,00	4,54	0,00	0,48	-0,53	0,23	0,28	-0,25									
2,14	0,00	4,59	0,00	0,49	-0,53	0,24	0,28	-0,26									
2,15	0,00	4,62	0,00	0,50	-0,53	0,25	0,28	-0,26									
2,15	0,00	4,63	0,00	0,50	-0,53	0,25	0,28	-0,27									
2,22	0,00	4,91	0,00	0,57	-0,53	0,32	0,28	-0,30									
2,29	0,00	5,24	0,00	0,64	-0,53	0,41	0,28	-0,34									
2,31	0,00	5,33	0,00	0,66	-0,53	0,43	0,28	-0,35									
2,31	0,00	5,35	0,00	0,66	-0,53	0,44	0,28	-0,35									
2,32	0,00	5,40	0,00	0,67	-0,53	0,46	0,28	-0,36									
2,35	0,00	5,52	0,00	0,70	-0,53	0,49	0,28	-0,37									
2,41	0,00	5,78	0,00	0,76	-0,53	0,57	0,28	-0,40									
2,44	0,00	5,96	0,00	0,79	-0,53	0,63	0,28	-0,42									
2,50	0,00	6,23	0,00	0,85	-0,53	0,72	0,28	-0,45									
2,50	0,00	6,25	0,00	0,85	-0,53	0,72	0,28	-0,45									
2,51	0,00	6,29	0,00	0,86	-0,53	0,73	0,28	-0,45									

Fuente: autor