



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

SEDE
ESMERALDAS

CARRERA DE GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

**ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA ANTE
INUNDACIONES DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO
TEAONE A TRAVÉS DE LOS SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL**

AUTOR

CARLOS VERA MONTESDEOCA

ASESOR

MGT. LUCÍA VERNAZA QUIÑONEZ

ESMERALDAS - MAYO, 2023

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Trabajo de tesis luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el Reglamento de grado de la PUCE-Esmeraldas, previo a la obtención del título de Ingeniera en Gestión Ambiental.

Presidente del tribunal de graduación

Mgt. Eduardo Rebolledo Monsalve

Lector 1

PhD. Javier Burbano Salazar

Lector 2

PhD. Javier Burbano Salazar

Coordinador Área de Industria, Construcción y Ambiente

Director de tesis

Mgt. Lucía Vernaza Quiñónez

Esmeraldas 3 de mayo de 2023

AUTORÍA

Yo, Carlos Geovanny Vera Montesdeoca, declaro que la presente investigación enmarcada en el actual trabajo de tesis absolutamente original, auténtica y personal. En virtud que el contenido de esta investigación de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor y de la PUCESE.

Carlos Geovanny Vera Montesdeoca

C.I. 1718891862

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer eternamente a Dios, puesto que él es el único al cual le debemos la dicha de respirar y de tener una vida y el cual ha puesto cada acción, etapa y circunstancia en mi camino de la forma en que él ha visto mejor

A mi madre Raquel Montesdeoca Delgado, quien dentro de sus posibilidades y fuera de ellas mismas nunca perdió la fe en mí, inclusive cuando hasta yo mismo las perdí y hasta el sol de hoy ha hecho que esto sea posible.

A mi padre Yovany Vera Casanova el cual también ha sido partícipe activo de este largo camino y siempre ha estado ahí con palabras breves y cortas pero muy concisas y de un inmenso significado.

A mi asesora, PhD Lucía Vernaza, quien con su gran conocimiento, experiencia y dedicación me orientó en el camino de todo este proceso académico.

DEDICATORIA

A Dios que con su manto de protección y sabiduría ha estado siempre presente en mis buenas y malas decisiones en la vida y de manera omnipresente me ha llevado por el camino correcto

A mi madre y padre que con un esfuerzo arduo lograron que se cumpla este objetivo el cual fue difícil pero nunca hubo desmayo de parte de ellos.

A mi tío Antonio Casanova y Josefa Montesdeoca que son piezas cruciales en mis estudios con su aporte financiero y afectivo.

A mi amigo Iván Sánchez que me ha dado la mano durante 13 años que lo conozco y esta no ha sido la excepción.

Y finalmente agradecer a mi elección a la hora de tomar decisiones que pese a ser tardía hasta ahora en conjunto de los buenos consejos de las buenas personas que me rodean y me estiman siempre han sido los correctos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AUTORÍA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUCCIÓN.....	1
Presentación del tema de investigación	1
Planteamiento del problema.....	2
Justificación	3
Objetivos.....	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos.....	4
CAPÍTULO I: MARCO TEORICO	5
Bases Teóricas y científicas	5
Antecedentes	8
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	9
Recolección de Datos	10
Análisis de datos.....	10
CAPITULO IV: DISCUSIÓN.....	20
CAPITULO V: CONCLUSIONES	22
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES	23
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	24
ANEXOS	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de deforestación anual promedio de las tres últimas décadas.....	24
Tabla 2. Áreas del cambio de uso del suelo y crecimiento poblacional de la cuenca del Río Teaone en las últimas tres décadas.....	27
Tabla 3. Registro de intensidad de lluvias y sus periodos de retorno de la cuenca del Río Teaone en las últimas tres décadas.....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio “Cuenca del Río Teaone”.	21
Figura 2. Mapa de deforestación de la cuenca del Río Teaone de tres décadas.....	23
Figura 3. Mapa del uso del suelo de la cuenca del Río Teaone 1990-2008.....	25
Figura 4. Mapa del uso del suelo de la cuenca del Río Teaone 2014-2018.....	26
Figura 5. Registro de intensidad de lluvias de la cuenca del Río Teaone y su período de retorno de los últimos dos años.....	28
Figura 6. Registro de intensidad de lluvias de la cuenca del Río Teaone con período de retorno de 5 años.....	29
Figura 7. Registro de intensidad de lluvias de la cuenca del Río Teaone con período de retorno de 10 años.....	29
Figura 8. Registro de intensidad de lluvias de la cuenca del Río Teaone con período de retorno de 25 años.....	30

RESUMEN

La cuenca baja del río Teaone ha sido punto de impacto frente inundaciones durante el pasar de los tiempos y con el crecimiento del calentamiento global y sobrepoblación que sufre el planeta cada vez más severo converge a tener mayor influencia de inundación conforme a las afectaciones del cambio climático en el lugar.

El estudio tuvo como objetivo determinar la magnitud de vulnerabilidad física ante inundaciones de la cuenca baja del Río Teaone, para con esto lograr a futuro infundir el conocimiento de contingencia, mitigación y mejor uso de los recursos a la población aledaña al área de estudio mediante mapas de análisis multitemporales de los cambios que ha presentado la cuenca baja y así hacer un aproximado de lo vulnerable que puede ser ante futuras inundaciones por medio de un análisis cuantitativo y cualitativo, en el cual se recopiló información de datos de vegetación, crecimiento demográfico, uso del suelo y registro de intensidad de lluvias de las últimas tres décadas. Para por medio un proceso estadístico determinar el rango de vulnerabilidad de la cuenca baja del río Teaone el cual fue de 0,89 indicando que es de alta vulnerabilidad, por ejemplo: las lluvias más alarmantes en nuestra zona geográfica son las de período de retorno de 5 años, que con un lapso de más de 360 min de intensidad de lluvia generarían una inundación aproximada de 100 mm, teniendo en cuenta que en épocas de invierno llegan a haber precipitaciones que sobrepasan las 24 horas. De esta manera por medio de los sistemas de información geográfica, y con ayuda del programa Arcgis se ejecutaron mapas de cambio de uso de suelo, de vegetación y de crecimiento demográfico de las tres últimas décadas.

Palabras clave: vulnerabilidad; cuenca; intensidad de lluvias; sistemas de información geográfica.

ABSTRACT

The lower basin of the Teaone River has been a point of impact for floods over time and with the growth of global warming and overpopulation that the planet suffers more and more severely, it converges to have a greater influence of flooding according to the effects of climate change. in the place.

The objective of the study was to determine the magnitude of physical vulnerability to flooding in the lower Teaone River basin, in order to instill future knowledge of contingency, mitigation and better use of resources to the population surrounding the study area through maps. of multitemporal analysis of the changes that the lower basin has presented and thus make an estimate of how vulnerable it may be to future floods through a quantitative and qualitative analysis, in which information on vegetation data, population growth, use of the soil and record of rainfall intensity of the last three decades. In order to determine, through a statistical process, the vulnerability range of the lower Teaone river basin, which was 0.89, indicating that it is highly vulnerable, for example: the most alarming rains in our geographical area are those of the return period of 5 years, which with a period of more than 360 min of rainfall intensity would generate a flood of approximately 100 mm, taking into account that in winter there are rainfalls that exceed 24 hours. In this way, through geographic information systems, and with the help of the Arcgis program, maps of land use change, vegetation, and demographic growth of the last three decades were executed.

Keywords: vulnerability; basin; rain intensity; geographic information systems

INTRODUCCIÓN

Presentación del tema de investigación

El planeta Tierra está conformado por un 70% de agua, de la cual el 97.5% es agua salina y el 2.5% es agua dulce; de este 2.5% de agua dulce el 68.9% se encuentra congelada en glaciares y nevados, 30.8% en aguas subterráneas y 0.3% se encuentran en superficie terrestre a través de lagos, ríos, humedales, entre otros (1). Esto quiere decir que menos del 1% de agua del planeta es para consumo humano y aprovechamiento de la flora y fauna terrestre.

El agua es de vital importancia para todas las actividades del diario vivir humano y para las distintas funciones que cumplen los animales y las plantas dentro de la ecología de los ecosistemas, por lo cual tiene que tener un buen manejo o tratamiento para su conservación, aunque se ha visto impactada de forma negativa en los últimos años por el alto crecimiento demográfico que va relacionado proporcionalmente con la contaminación y el calentamiento global (2).

Este crecimiento demográfico conlleva a un crecimiento exponencial de la industria, la cual utiliza volúmenes altos de agua y al mismo tiempo contamina millones de litros de la misma (3). Esta agua en disponibilidad se encuentra dispersa en varios ecosistemas dulceacuícolas que están inmersos en lo que se conoce como cuenca hidrográfica, lo cual es: “El albergue en donde todos los puntos con rangos altitudinales más altos de un área geográfica circulan los líquidos a puntos en común, conocidos como cauces y que su salida final sea el océano, pero por varios factores naturales y antropogénicos esta disposición de agua en las cuencas puede llegar a causar varios impactos en el medio ambiente, en las personas, en la economía y en la ecología de un área geográfica. Las cuencas cuentan con 3 divisiones que son: cuenca alta, cuenca media y cuenca baja, las cuales tienen relación en el rendimiento, calidad y funcionamiento de sí misma dependiente de las partes que se encuentren más arriba, por ejemplo: la calidad de la parte baja de una cuenca va a ser muy dependiente del manejo o gestión que tenga su parte alta (4).

Al hablar de “Vulnerabilidad de la Cuenca Baja”, nos referimos a todos los posibles impactos negativos a los que tiene probabilidad de ser perjudicado este ecosistema, personas del lugar (economía y salud), las pertenencias materiales (viviendas, infraestructuras, pertenencias) y el valor ecológico que representa para la sociedad. Este análisis de vulnerabilidad física lleva una medición a

escala de intensidad que por lo general es medido en magnitudes de 0 (sin problemas) a 1 (pérdida total) (4). Este rango cuantitativo de vulnerabilidad en el estudio presente, toma en cuenta al estado de la cuenca en cuanto a: la variabilidad del uso del suelo en el tiempo, la variabilidad de la cobertura vegetal, el crecimiento de la zona poblada e infraestructuras, estudios previos sobre el cuidado de la rivera del río Teaone y pérdida de servicios ecosistémicos.

Esmeraldas-Ecuador al estar dentro de una zona tropical húmeda, ser parte del cordón del fuego del Pacífico y la incidencia del cambio climático que sufre el planeta por el mal uso o uso excesivo de sus recursos tiene índices de pluviosidad elevados por lo cual hay tendencia a desbordamientos de los cauces, saturación del suelo, erosión, deslizamientos, sismos, tsunamis, etc. (5). Serie de desastres naturales que hacen vulnerable a cualquier sector de la República durante la mayor parte del año. A parte el crecimiento del sector agropecuario e industrial, la disminución de la cobertura vegetal que es la que genera permeabilidad al suelo mitigando inundaciones y el crecimiento urbanístico está aportando una severa degradación del suelo y de las fuentes hídricas, lo cual aumenta la contaminación y la vulnerabilidad de las cuencas (6).

Este estudio tiene como uno de sus objetivos analizar la vulnerabilidad de la cuenca baja del Río Teaone por medio de patrones indicadores de intensidad de vulnerabilidad medidos en magnitudes del 0 al 1 y plasmarlo a través de mapas de análisis multitemporales estratificados por medio de la información que otorga el Instituto Geográfico Militar (IGM), el Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología (INHAMI) y la información archivada que date sobre incidentes relacionados a esta cuenca, para que los organismos competentes hagan planes de manejo de la cuenca, planes de reforestación, planes de restauración del suelo y si es posible planes de reubicación conforme al ordenamiento territorial de los ciudadanos bajo mayor vulnerabilidad. De la misma manera que sirva como pie de estudios para otros casos de vulnerabilidad en otras cuencas de Esmeraldas ya que son acciones presentes comúnmente en nuestras zonas.

Planteamiento del problema

La ubicación de la población aledaña a la cuenca baja del río Teaone, tiene una estancia muy próxima en altura y longitud al cauce, aparte, de tener una barrera ecológica debilitada con la pérdida vegetal a través de los años, por lo cual sufre severas inundaciones en épocas de lluvias intensas, teniendo como resultado altas pérdidas económicas y hasta humanas.

Pero aparte de que la comunidad del sector esté ubicada de forma errónea, pueden existir factores naturales, antropogénicos o impactos ambientales que vuelven a esta cuenca más vulnerable ante inundaciones y al estudiarlos se pueda generar la forma de solucionar o mitigar todos estos problemas.

PREGUNTA CIENTÍFICA

¿Qué impacto tienen las lluvias de alta intensidad sobre cuencas que han sido intervenidas en su suelo, vegetación y crecimiento poblacional?

Justificación

La novedad que aplica este estudio es la de la unión de varios mapas de sistema de información geográfica. Donde se pueden entender que resultados enlazados de fuertes intensidades de lluvias, degradación del suelo, pérdida de vegetación y el crecimiento de la infraestructura a causa del crecimiento poblacional pueden generar un impacto negativo frente a posibles inundaciones.

La población esmeraldeña no tiene un conocimiento significativo sobre el uso y el cuidado del suelo, sobre la importancia de la vegetación en los temas de catástrofes naturales, en los impactos negativos que genera el humano en una cuenca o para ser más específicos en un río, por lo tanto, este estudio sirve para que la población aledaña al área de estudio concientice sobre estos temas de vital importancia

Este estudio tiene como prioridad un alcance social, ambiental y ecológico ya que hace énfasis en el aprendizaje de las personas a mejores usos de los recursos para beneficio propio y para de la misma manera una convergencia positiva con el dinamismo del medio ambiente. Para concluir con el impacto positivo de reformas en cuanto a los planes de manejo territorial del cantón frente a las poblaciones establecidas en zonas de riesgos.

Objetivos

Objetivo general

Analizar la vulnerabilidad ante inundaciones de la Cuenca baja del Río Teaone mediante el uso de herramientas SIG en una línea de tiempo de las últimas 3 décadas.

Objetivos específicos

- Determinar los cambios del uso del suelo de la cuenca de los últimos 30 años, teniendo en cuenta su uso, el cambio en la cobertura vegetal y los efectos antropogénicos según los shapes de los SIG del área de estudio, en un análisis multitemporal de cada 10 años.
- Determinar la probabilidad ante inundaciones bajo índices de máximas intensidades de precipitación en un período de retorno de hasta 25 años mediante un análisis multitemporal de cada 5 años.
- Difundir los mapas del cambio del uso de suelo y cobertura vegetal del área de estudio y resultados obtenidos de probabilidad ante inundaciones.

CAPÍTULO I: MARCO TEORICO

Bases Teóricas y científicas

Hidrología del Ecuador

Ecuador se encuentra localizado en la parte noroccidental de América del Sur, exactamente entre los paralelos 01°30' N y 03°23.5' S y los meridianos 75°12' W y 81°00' E, está dentro de la franja tropical del planeta incluyendo el cinturón de fuego del Pacífico y a 22 km hacia el Norte de su capital Quito lo atraviesa la línea ecuatorial. Cuenta con una extensión de 262.826 km² dentro de la plataforma continental y está atravesada de Norte a Sur por la Cordillera de los Andes, la cual divide a la república de forma natural en tres regiones: Costa, Sierra y Amazonía, sin tomar en cuenta que tiene las islas Galápagos como región Insular; gracias a esta división natural de tres regiones dentro de poca extensión geográfica. Ecuador cuenta con un sistema hidrográfico privilegiado, aproximadamente 26 ecosistemas y casi 100 sub-ecosistemas, más su enorme extensión marítima conforme a la extensión territorial, siendo reconocido como un país megadiverso y con un alto porcentaje de endemismo (7).

Como se mencionaba, la hidrografía del país tiene un alto potencial en cuanto al recurso agua, ya que desde la Cordillera de los Andes nacen todos los ríos que bañan a la república, unos del lado Occidental con dirección al océano Pacífico y otros con dirección Oriental hacia la Amazonía. El Ecuador cuenta con 31 Sistemas Hidrográficos, desglosados en 79 cuencas. Hacia el Océano Pacífico desembocan 24 cuencas, las cuales abarcan 123.243 Km², ocupando un 48,07% del territorio continental; y hacia la Región Oriental apenas 7 cuencas, las cuales disponen un área de 131.802 Km² que representa el 51,41% del territorio nacional (8).

Todas estas cuencas sirven de uso para la población ecuatoriana incluyendo toda la ecología que los colinda, pero al pasar de los años con el deterioro y cambio climático muchas de estas cuencas han perdido cauce y sostenibilidad (9).

Afectaciones físicas y antropogénicas.

Toda esta disposición de agua dentro de las cuencas hidrográficas se puede ver afectada por cambios abruptos en las características físicas y químicas de una cuenca y de la mano pueden involucrar a terceros (humanos, otras especies, condiciones paisajísticas, etc.) con severos daños, como por ejemplo el cambio en el uso del suelo, cobertura vegetal y crecimiento urbanístico, ya que la pérdida de vegetación que brinda sustento al suelo para ser más permeable y absorbente, el maltrato al suelo a través de los años y la creación de nuevas infraestructuras sobre la tierra que impiden su funcionamiento natural producen impermeabilidad en los suelos y esto puede ocasionar pérdida de acuíferos, inundaciones, saturaciones, erosiones, entre otros tipos de incidentes (10).

Si una población se encuentra aledaña a un área geográfica con características físicas parecidas a las antes mencionadas a simple vista podemos denotar que está bajo un alto nivel de vulnerabilidad ya que si se presenta una inundación los impactos hacia la población pueden llegar a ser de mortandad, lesiones o pérdidas materiales. Esta vulnerabilidad a causa de características físicas de una cuenca se agudiza más si la región o área geográfica tiene altos niveles de pluviosidad anual ya que a través de las medias de intensidad máxima de duración de lluvias, su desviación estándar, el intervalo de años de registro de pluviosidad y el factor de susceptibilidad que otorgan las imágenes satelitales por medio de la pérdida de vegetación y cambios en el uso del suelo se puede calcular la “intensidad de peligro de inundación por lluvias” $PI=f(FS,FII)$ (11).

Sistemas de información geográficos y registros de intensidad de lluvias con su período de retorno.

Para poder aplicar estas fórmulas de susceptibilidad ante inundaciones necesitamos información geográfica de la zona a estudiar y esta se puede analizar a través de las imágenes satelitales de los SIG (sistema de información geográfica), las cuales son imágenes que guardan muchos datos y registros importantes que por medio de un programa informático de geografía nos brinda la oportunidad de maniobrar datos como:

área, longitud, ciudades, provincias, ríos, cuencas, lagos, cantones, usos del suelo, cobertura vegetal, zona agropecuaria, crecimiento infraestructural de un área, entre otras.

El análisis de estos datos dentro del cuidado y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente es de vital importancia ya que por ellos podemos hacer estimaciones de la situación en la que se encuentra un recurso y los impactos antropogénicos que se están ocasionando. Teniendo en cuenta que los datos de intensidad de lluvias son promedios que registra el INHAMI del alcance volumétrico que pueden tener las precipitaciones según su duración en minutos y sobre todo según un período de retorno o sea de incidencia frecuente del fenómeno determinada en cada cuantos años, van de la mano del estudio de las características físicas antes mencionadas para determinar la vulnerabilidad de una cuenca. (10).

En el Ecuador esta información es otorgada de forma gratuita para estudios por el IGM (Instituto Geográfico Militar) a través de su Geoportal (12). De la misma manera se necesitan datos de registros de intensidad de lluvia y velocidad del cauce, los cuáles se obtienen por medio del INHAMI, del centro meteorológico de Termo Esmeraldas, o por los registros meteorológicos de Petroecuador. Finalmente, con la disposición y uso de estas herramientas se puede realizar el estudio de la vulnerabilidad de la cuenca baja del Río Teaone.

Reforestación como barrera natural ante inundaciones.

El Río Teaone se encuentra dentro de Esmeraldas, al norte de la costa ecuatoriana, pertenece a la cuenca del río Esmeraldas que desemboca en el océano Pacífico y no tiene ningún registro de estudio de vulnerabilidad o cuidado de la cuenca y su población aledaña. Aunque en el 2007 hubo un polémico proyecto contra la contaminación del río Teaone y la recuperación de sus riveras conocido como Programa de Reparación Ambiental y Social “PRAS”, ya que la empresa Termo Esmeraldas tenía un alto impacto socio ambiental dentro de la ciudad anunció la ejecución de un proyecto con el cual se iba a reparar en su totalidad todos los daños que causaba la empresa a el río. El mayor

impacto que ocasionaban al río era dado por el combustible que se vertía según declaraciones del presidente de ese entonces Alberto Cruz, por lo que plantaron 4000 plántulas de caña de bambú y atención médica gratuita a los moradores de barrios del sur de Esmeraldas con lo que predijeron ver resultados positivos apenas en 6 meses (13).

Se llama polémico al caso del proyecto PRAS porque su presupuesto fue de 2 millones de dólares para la recuperación de las riveras, control de inundaciones y control de desechos vertidos en los ríos, pero los resultados fueron nulos ya que las metodologías aplicadas no dieron ni un 10% de efectividad y en el 2012 Ernesto Estupiñán (Alcalde de Esmeraldas vigente durante el proyecto) fue demandado por la Contraloría General del Estado para que dé respuestas acerca de lo ocurrido (13).

Antecedentes

El método que se utilizó fue en base a estudios en países de condiciones semejantes a la del área de estudio, en este caso al de la cuenca baja del río Teaone. Condiciones tales como: clima, tipo de vegetación, cauce, erosión, uso del suelo, estructura del suelo y crecimiento poblacional, sin omitir lo coincidente que es el impacto del cambio climático a nivel mundial.

Todos estos estudios coinciden con un análisis transversal en el cual determinan el cambio que ha tenido el área de estudio en un lapso de 30 a 50 años en lo que respecta su decrecimiento vegetativo, erosión del suelo, crecimiento poblacional, fenómeno del niño y registro de lluvias promedio por año (mm³) y finalizan con el empleo de la fórmula de vulnerabilidad por intensidad de lluvias: $PI = f(FS, FII)$ para con el resultado determinar el rango de vulnerabilidad según su proximidad con la unidad.

Todo lo explicado recae a la teoría de vulnerabilidad de Wilches y Chaux (14) en la cual determinan como conducta del ser humano no sentir interés o preocupación por los daños que puede tener por lo que le rodea según las leyes de causa-efecto. Entonces uniendo este concepto al ámbito ambiental se tiene como objetivo tratar de inducir la mitigación, la reforestación, el cambio social, la concientización y el mejor uso de la materia prima para conveniencia de ambas partes, el planeta y el riesgo de perder cosas materiales y hasta la vida.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La cuenca baja del río Teaone se ubica en la vertiente noroccidental de la Cuenca del Río Esmeraldas de la provincia de Esmeraldas en la parte norte de la república del Ecuador, exactamente entre los 0,55,14" y 0,55,34" N y los 79,39,31" y 79,39,53" O. El área total de la cuenca hidrográfica es de 20 000 km² aproximadamente, pero nuestra pequeña área de estudio de la sub cuenca baja del río Teaone es de 591.54 km².

Para determinar la cuenca alta, media o baja de una cuenca existen varios métodos. Entre ellos se puede hacer mediante cortes transversales de la cuenca, denotando los cambios abruptos altitudinales y de inclinación. En el caso de este estudio se lo realizó de forma más sencilla; analizando a través del Google Earth el inicio e incidencias de meandros, lo cual indica que el río empieza a zigzaguear, a perder velocidad, turbidez, a tener mas empozamiento, tener aguas más transparentes, etc.

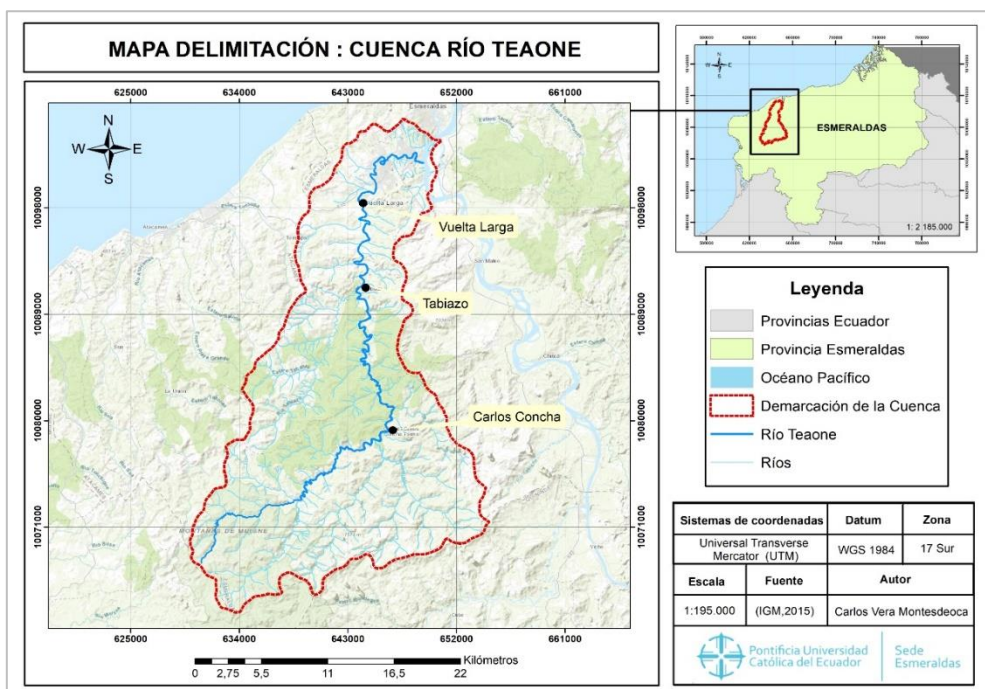


Figura 1. Ubicación del área de estudio “Cuenca del Río Teaone” provincia de Esmeraldas.

En términos ambientales, es relevante mencionar que la sub cuenca del río Teaone está dentro de los importantes bosques tropicales húmedos con una alta biodiversidad, un clima que maneja lluvias fuertes durante algunos meses del año, cuenta con dos estaciones: verano de junio a noviembre con bajos niveles de pluviosidad de promedio 25 mm³ por mes e invierno de diciembre a mayo con niveles promedio de lluvias de 120 mm³ por mes (15).

Recolección de Datos

Los datos requeridos para realizar los mapas de cambio de uso del suelo, vegetación y crecimiento poblacional fueron obtenidos de la fuente del Instituto Geográfico Militar, estos mismos fueron recopilados y procesados en un software de sistemas de información geográfico llamado ArcGis. Para determinar la probabilidad ante inundaciones se obtuvieron datos del INHAMI de los registros de intensidad de lluvias y sus períodos de retorno, para luego estos datos ser operados por una fórmula de inundaciones bajo intensidades de lluvias.

Análisis de datos

El análisis de la vulnerabilidad se lo realizó por medio de la información geográfica con la cual a través del programa cartográfico ARCGIS se cortó un área según las curvas de nivel sobre el área de la cuenca Río Teaone. Con el trazo del área de estudio y las capas de Sistema de Información Geográfico SIG conocidas como CUT (cobertura y uso de la tierra) se analizaron los cambios en la cobertura vegetal, crecimiento urbanístico y usos del suelo de los último 40 años con lo que se logró obtener tablas numéricas con porcentajes y números de áreas ya sean de crecimiento o al contrario de decrecimiento.

Por medio de las fuentes de información hidrológica (INHAMI) se obtuvieron los datos de pluviosidad en un período de hasta 50 años, con el cual por medio del intervalo de tiempo o duración y el volumen de intensidad se determina que alcance puede tener frente a una inundación.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

En este apartado, se presentan el análisis de los resultados adquiridos mediante el sistema de información geográfica empleado.

Los resultados del mapa son evidentes en los últimos treinta años en conjunto del crecimiento poblacional, urbanístico, agropecuario, entre otras actividades humanas han sido clave para el deterioro y pérdida vegetal. En el mapa refleja con color verde lo que era bosque nativo de la zona para inicio de los 90 y lo que es para los finales de esta última década pasada (Figura, 2).

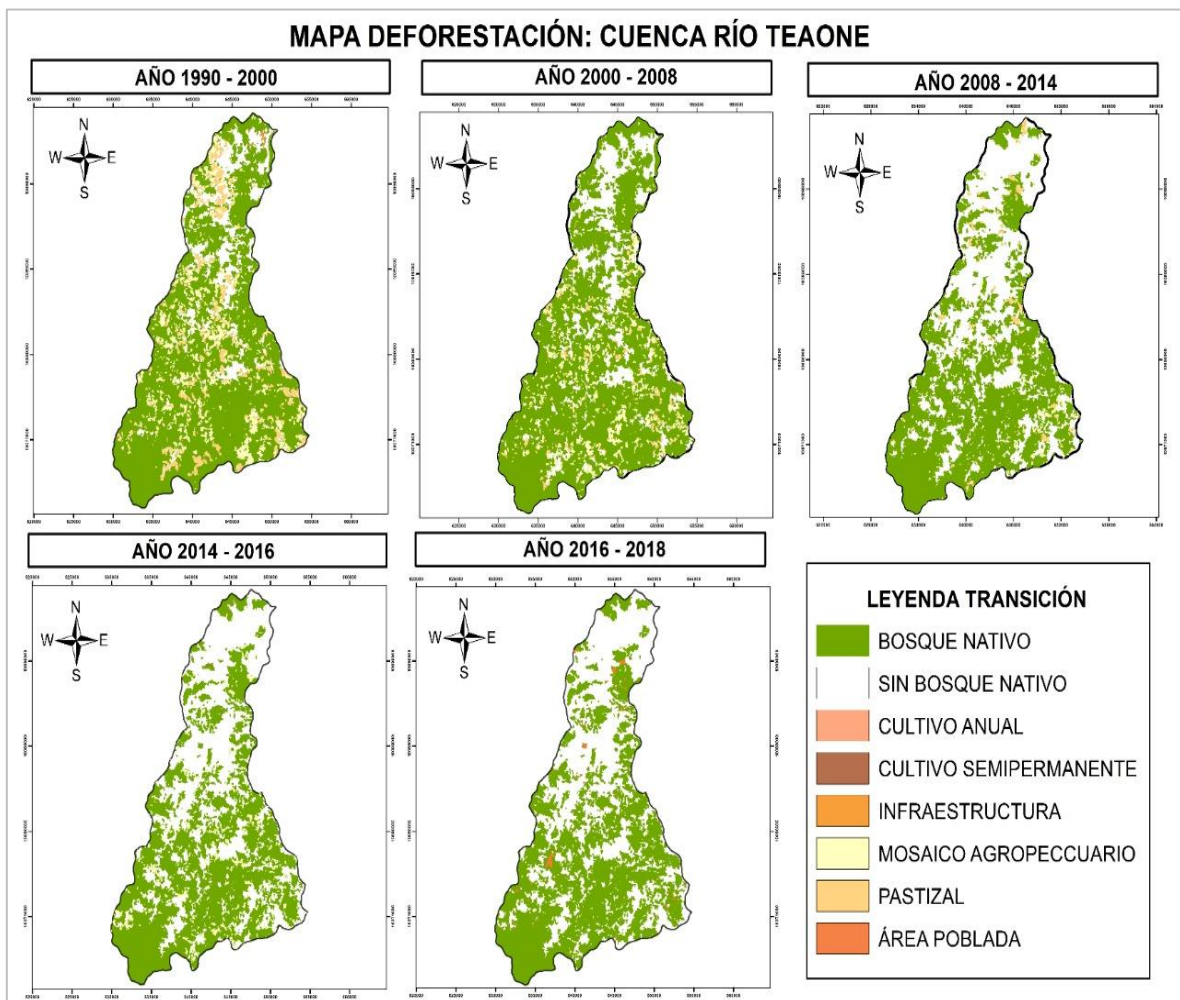


Figura 2. Mapa de deforestación de la cuenca del Río Teaone de tres décadas.

En la Tabla 1 podemos observar de forma numérica lo que ya pudimos apreciar de forma gráfica a través de los mapas de deforestación ya que tenemos como punto inicial en la década de los noventa un área de 36445,37 Ha y como punto final en el año 2018 donde se llevó el último registro de información geográfica un área de 22994,04 Ha. Todo esto representa una pérdida de aproximadamente el 37% del bosque nativo en tan sólo treinta años.

DEFORESTACIÓN ANUAL PROMEDIO					
AÑOS	ÁREAS DE BOSQUE PERIODO INICIAL (Ha)	ÁREAS DE BOSQUE PERIODO FINAL (Ha)	PERIODO INICIAL	PERIODO FINAL	DEFORESTACIÓN ANUAL PROMEDIO (Ha/año)
1990-2000	36445,37	29626,91	1990	2000	681,85
2000-2008	29626,91	26287,10	2000	2008	417,48
2008-2014	26287,10	25114,81	2008	2014	195,38
2014-2016	25114,81	24839,32	2014	2016	137,75
2016-2018	24839,32	22994,04	2016	2018	922,64

Tabla 1. Tabla de deforestación anual promedio de las tres últimas décadas.

Como nos muestran los mapas de las Figura 3 Y 4 podemos analizar dos partes de este trabajo, las cuales son: el uso del suelo y tierra y el crecimiento urbanístico y poblacional. Donde sin duda alguna lo más representativo es el crecimiento agropecuario, representado por el color amarillo, pero sin descartar que todo esto repercute por el crecimiento de áreas pobladas e infraestructura, representadas por los colores lilas.

MAPA DE USO DE SUELO: CUENCA RÍO TEAONE

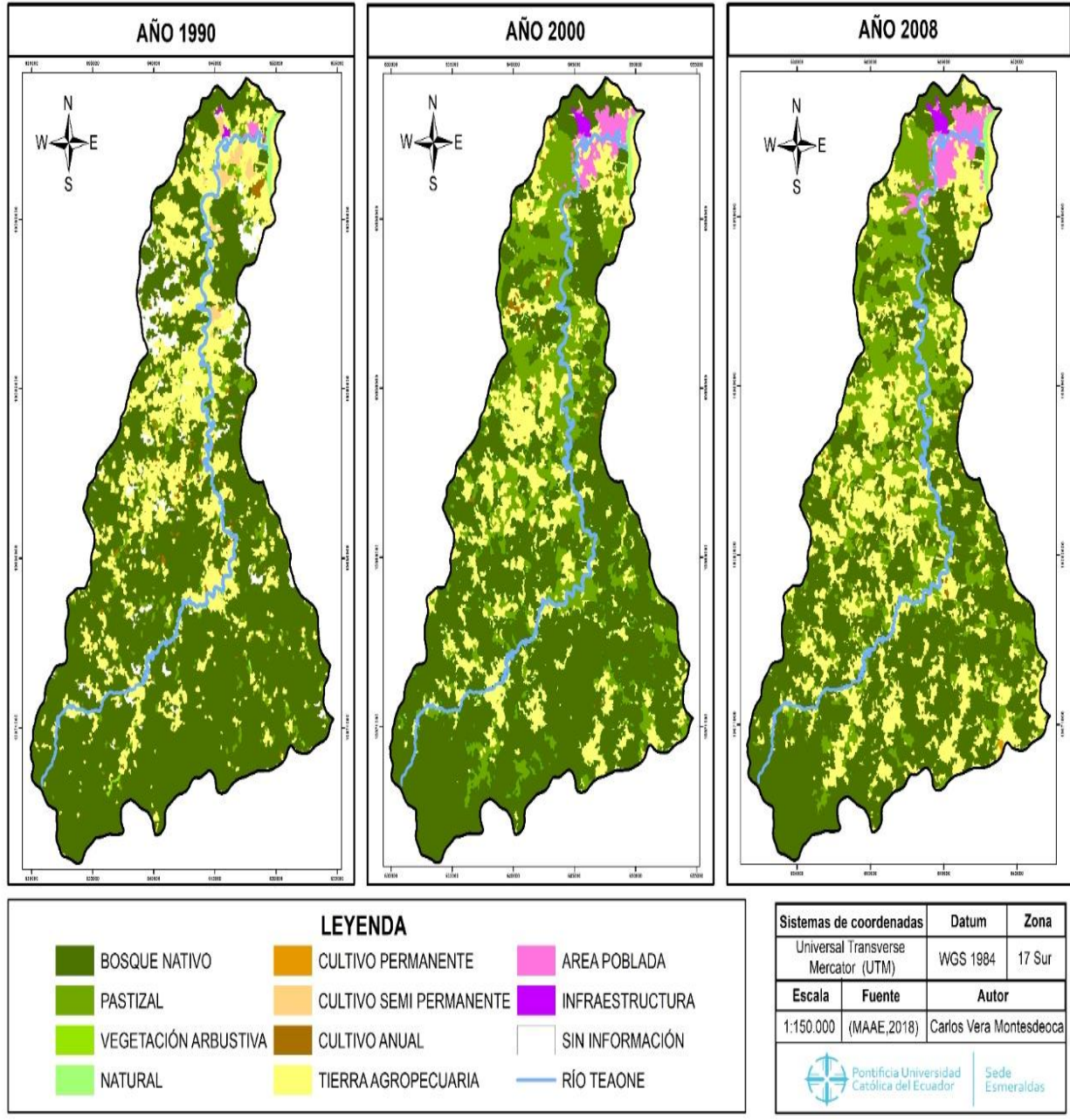


Figura 3. Mapa del uso del suelo de la cuenca del Río Teaone 1990-2008

MAPA DE USO DE SUELO: CUENCA RÍO TEAONE

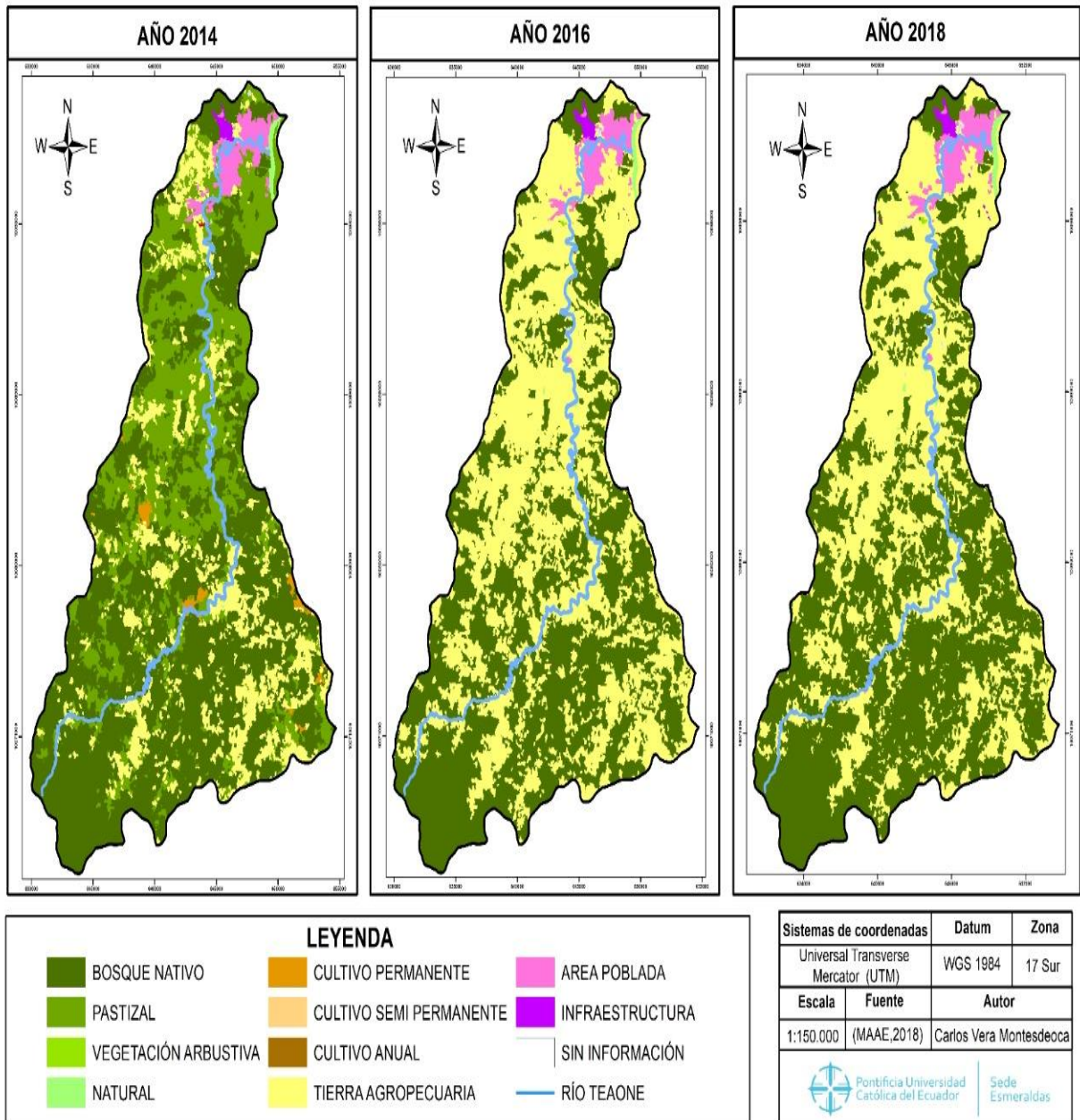


Figura 4. Mapa del uso del suelo de la cuenca del Río Teañone 2014-2018

En la Tabla 2 podemos observar lo que nos muestran los colores de los mapas de uso del suelo de la cuenca del Río Teañone a simple vista en las últimas tres décadas, teniendo como mayor porcentaje de uso del suelo los años 2016 y 2018 donde ambos ocupan aproximadamente el 48% del área total de la cuenca y como año con menor registro de uso

del suelo el 2014 con un aproximado del 17% del área total. Otro dato interesante es que en todos los años el mayor registro de uso del suelo es representado por el uso agropecuario, que, como se mencionó anteriormente va relacionado al crecimiento poblacional y urbanístico.

AÑO	CULTIVO PERMANENTE (Ha)	CULTIVO SEMI PERMANENTE (Ha)	CULTIVO ANUAL (Ha)	TIERRA AGROPECUARIA (Ha)	AREA POBLADA (Ha)	INFRAESTRUCTURA (Ha)	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE
1990	7,49	496,08	370,87	10360,64	87,71	40,59	52752,29	21,54
2000	0,32	7,37	141,26	10526,26	839,07	128,07	52752,29	22,07
2008		37,41	120,11	15179,20	1102,77	140,94	52752,29	31,43
2014	496,32	3,60		7533,35	1173,24	140,94	52752,29	17,72
2016				23945,86	1210,59	177,53	52752,29	48,02
2018				24309,32	1234,26	181,49	52752,29	48,77

Tabla 2. Áreas del cambio de uso del suelo y crecimiento poblacional de la cuenca en las últimas tres décadas.

La Tabla 3 nos muestra el registro de intensidad de lluvias, determinado por el volumen (mm³) sobre tiempo (h) con lo que se trabajó con el registro de las últimas tres décadas conforme a sus períodos de retorno.

		PERÍODO DE RETORNO					
INTERVALO	T(min)	2	5	10	25	50	100
5 min	5	82,5	102,3	120,3	149,1	175,3	206,2
10 min	10	67,7	83,8	98,6	122,2	143,7	169
15 min	15	60,2	74,6	87,8	108,8	127,9	150,4
20 min	20	55,5	68,7	80,8	100,1	117,8	138,5
30 min	30	49,4	61,2	71,9	89,1	104,8	123,3
60 min	60	41,5	51,4	60,4	74,8	87,9	103,3
120 min	120	24,2	30	35,2	43,6	51,3	60,3
360 min	360	10,3	12,8	15	18,6	21,9	25,7
1440 min	1440	3,5	4,4	5,1	6,3	7,4	8,8
		INTENSIDAD MÁXIMA (mm/h)					

Tabla 3. Registro de intensidad de lluvias y sus periodos de retorno de la cuenca en las últimas tres décadas.

La figura 5 nos muestra la cantidad de lluvia (mm) que puede impactar dentro del área de estudio conforme a la duración (min) que esta misma pueda tener. Teniendo una incidencia de retorno de 2 años.

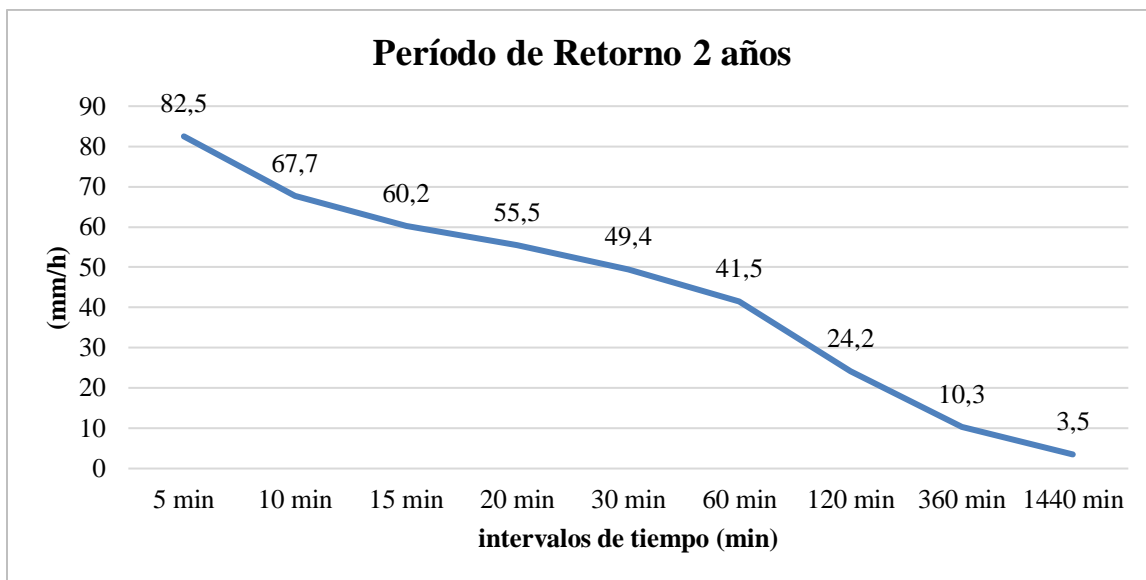


Figura 5. Registro de intensidad de lluvias de la cuenca del Río Teaone y su período de retorno de los últimos dos años.

La Figura 6 muestra la cantidad de lluvia (mm) que puede impactar dentro del área de estudio conforme a la duración (min) que esta misma pueda tener. Teniendo una incidencia de retorno de 5 años.

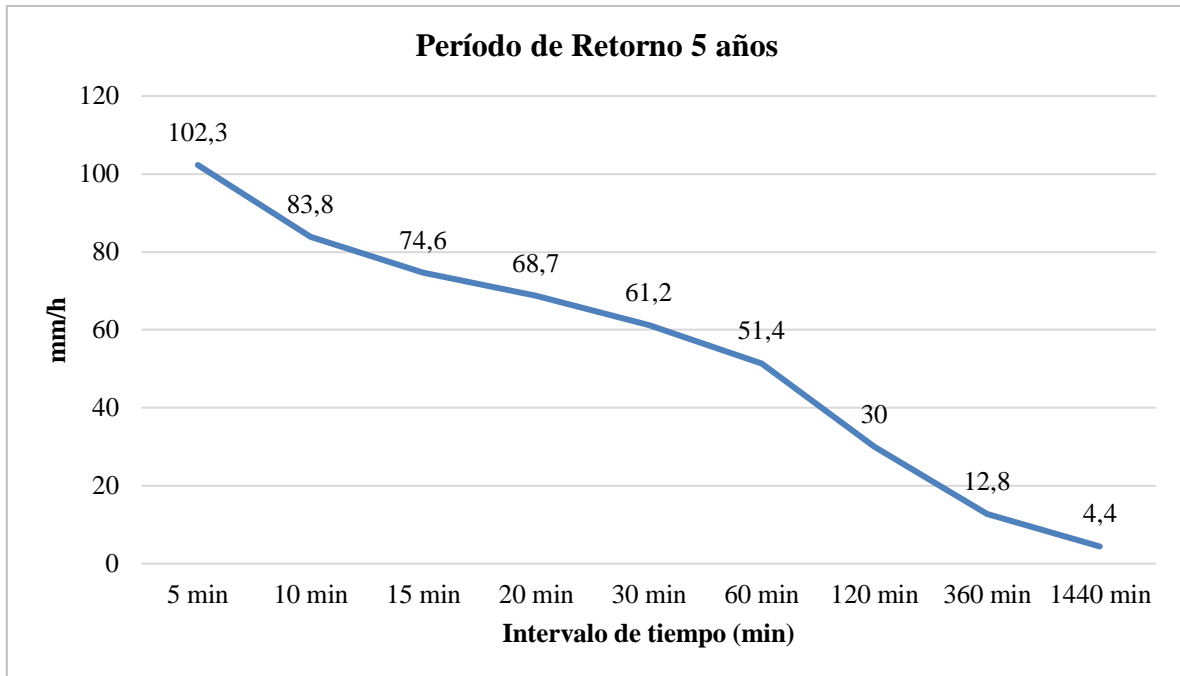


Figura 6. Registro de intensidad de lluvias de la cuenca del Río Teaone con período de retorno de 5 años.

Por otra parte, la Figura 7 presenta la cantidad de lluvia (mm) que puede impactar dentro del área de estudio conforme a la duración (min) que esta misma pueda tener. Teniendo una incidencia de retorno de 10 años.

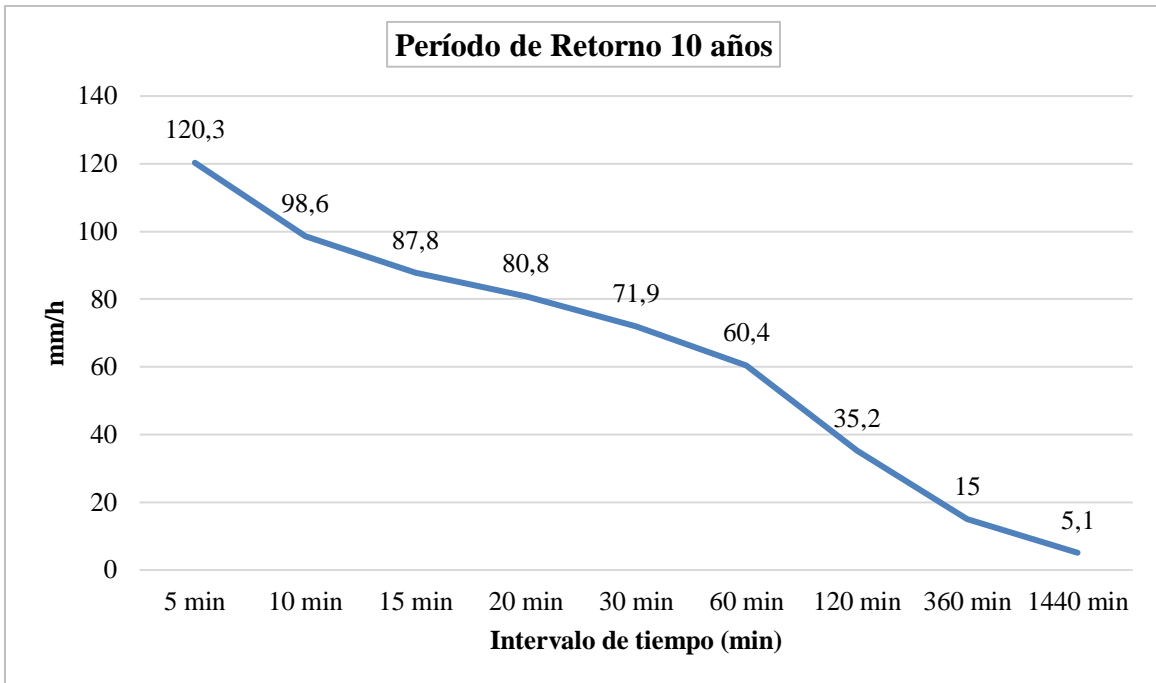


Figura 7. Registro de intensidad de lluvias de la cuenca del Río Teaone con período de retorno de 10 años.

Por último, la Figura 8 muestra cantidad de lluvia (mm) que puede impactar dentro del área de estudio conforme a la duración (min) que esta misma pueda tener. Teniendo una incidencia de retorno de 25 años. Haciendo uso de estos datos de pluviosidad utilizamos la siguiente fórmula para determinar la vulnerabilidad ante inundaciones del área de estudio en función de un promedio de los índices máximos de lluvia del sector teniendo como resultado un índice de $PI=0,89$.

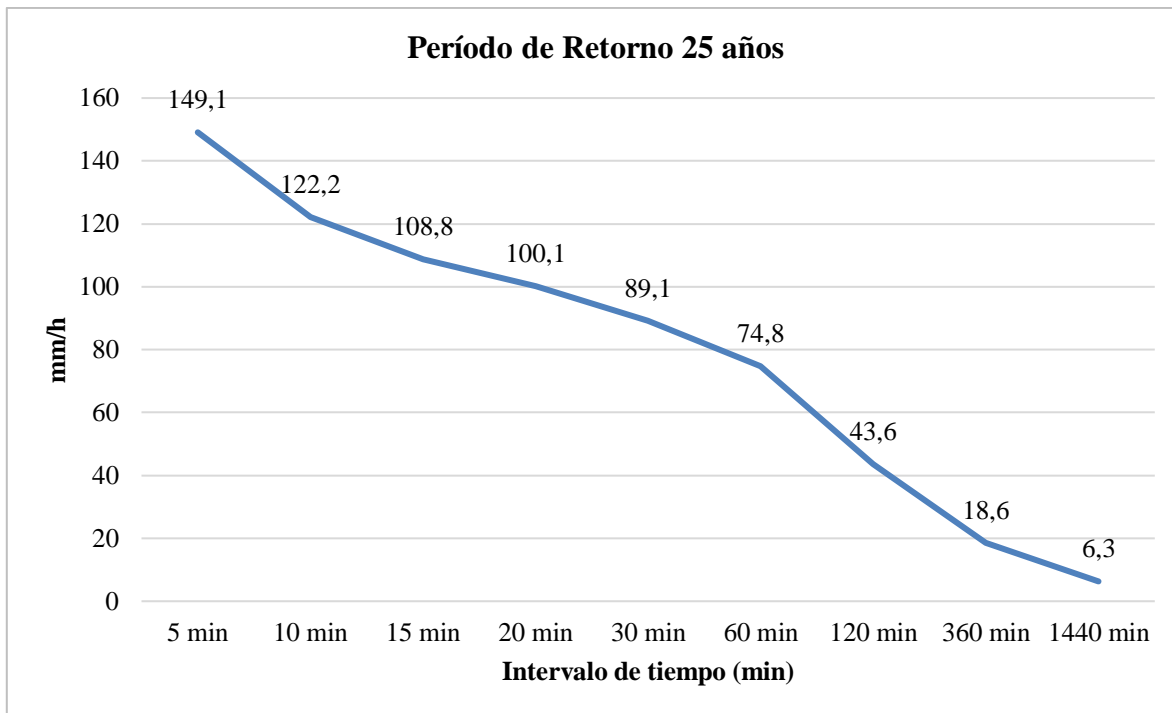


Figura 8. Registro de intensidad de lluvias de la cuenca del Río Teaone con período de retorno de 25 años.

CAPITULO IV: DISCUSIÓN

En el presente estudio se obtuvo un decrecimiento del uso del suelo aproximado del 48% conforme a la línea de tiempo determinada por cuarenta años, la cual representa una pérdida de aproximadamente la mitad del área total de la cuenca. Este dato tiene una gran proximidad en similitud con el estudio de Romero (16), ya que en la ciudad de Santiago de Chile se hizo el estudio determinante durante un lapso similar de cuarenta años que obtuvo una pérdida de más del 50% del uso del suelo, teniendo como repercusión un alto índice de contaminación en el área de estudio. Cabe tomar en cuenta que el desarrollo en Santiago de Chile en las últimas décadas ha sido más contundente que el de Esmeraldas, por lo cual va a generar a vista simple un impacto mayor.

Este registro del 48% de uso del suelo tiene más del 90% de incidencia en el crecimiento agropecuario, que conforme a las necesidades humanas de “progreso” han despuntado esta actividad en el área. Cifras que nos asemejan al estudio de Merloto (17), realizado en Argentina en la ciudad de buenos donde por medio de un estudio socio-económico registran un total del 24% del área con finalidades de uso agropecuario y que tuvieron su mayor despunte en los inicios de la década de los 90 y principios de los 2000.

De la misma manera se tuvo un déficit aproximado del 37% de cobertura vegetal en el área de estudio en los últimos cuarenta años lo que colinda con la pérdida de casi la mitad de la vegetación arbustiva y arbórea. Este dato se asemeja al estudio de Garzón y Jiménez (18) basado en un análisis de vulnerabilidad del Río Blanco en el municipio La Calera (Colombia), el cual tuvo como pérdida vegetativa en las últimas dos décadas del 38.7%, teniendo como resultado un decrecimiento de más de un tercio de la vegetación arbórea y arbustiva, por lo tanto, se dieron repercusiones en el suelo y en el agua y su calidad, aumentando la vulnerabilidad del área de estudio.

En la pérdida de la cobertura vegetal del área de la cuenca del Río Teaone, la parte con mayor impacto negativo fue el bosque Nativo representando dentro del porcentaje total más del 90% ya que es el suelo con mayor cantidad de nutrientes y más eficiente para el uso agropecuario. Este dato nos lleva a la comparación con el estudio de Sabatini (19) realizado en Argentina con la finalidad de comparar el cambio físico y químico en el suelo de la

cuenca con permanencia de bosque nativo y el suelo de la cuenca ya deforestado. Teniendo una pérdida del 43% de bosque nativo del área total de la cuenca en un lapso de 25 años.

El crecimiento poblacional, urbanístico y demográfico del sector en los últimos cuarenta años tuvo un aumento del 7.02% en lo que respecta al espacio (ha) que ocupan dentro del área de estudio. Este dato da respuesta al estudio de Hernández y Tapia (20) en el cual hacen una comparación del desarrollo urbano y la incidencia en los sistemas fluviales e hídricos, los que concluyen que tienen una relación inversamente proporcional y por ende un impacto negativo hacia la vulnerabilidad de una cuenca hidrográfica.

Este crecimiento poblacional en el área de estudio tiene una razón de casi el 600% de crecimiento en las últimas tres décadas lo cual tiene un impacto directamente proporcional en el uso del suelo en cuanto a un accionar natural para beneficio del “progreso”. Esta relación población-uso del suelo, tiene similitud al estudio de Ramírez (21) en la Provincia de Chaco-Argentina en la cual se hizo un análisis del crecimiento urbanístico de las últimas cinco décadas y se obtuvo como resultado un crecimiento del 60% de la población, teniendo repercusiones en el uso del suelo a causa del crecimiento agropecuario y la pérdida de bosques nativos.

Como último resultado tuvimos los datos volumétricos de pluviosidad (mm/h) conforme a 50 años (índice de retorno) e intervalos de tiempo de 5 minutos hasta 1440 min, todos estos datos fueron resumidos a los que tenían mayor frecuencia como: de 2 a 5 años en intervalos de hasta 360 min. Teniendo como resultado de la fórmula de intensidad de lluvias un $PI=0.89$, por lo cual según el estudio realizado en Medellín para el análisis de vulnerabilidad de cuencas por Valencia (22) dispone que en el promedio de índices de intensidad de lluvias bajo la fórmula de vulnerabilidad un índice mientras más cercano a la unidad se encuentre será de más grado de vulnerabilidad ante inundaciones.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

- Según los resultados obtenidos en el proceso de mapeo y sistemas de información geográfica de los últimos 40 años se concluye que la degradación del suelo, en cuanto a la pérdida de bosques nativos que son los que más sustento le dan a la tierra y sirven de barrera ecológica han generado parte de la alta vulnerabilidad ante inundaciones de la cuenca baja del Río Teaone.
- De igual forma el mal uso de los recursos hídricos, la erosión, la pérdida vegetativa y arbustiva son generadores del impacto negativo que tiene la cuenca para soportar de manera natural las fuertes lluvias y posibles inundaciones.
- El crecimiento urbanístico, de infraestructura y el crecimiento poblacional son principales incidentes en el impacto negativo que puede tener una cuenca hidrográfica y del mismo modo en su vulnerabilidad, ya que el ser humano en su búsqueda del progreso es capaz de disminuir los recursos a cifras deprimentes, de esta manera se desplazan especies, se talan bosques, se dañan los nutrientes naturales del suelo y sobre todo se contamina el agua.
- Del mismo modo y de la mano de los resultados de pluviosidad y su alta incidencia por la zona en la que está ubicada el área de estudio se concluye que es una zona de alta vulnerabilidad ante inundaciones, ya sea por los cambios físicos que ha tenido a lo largo de las últimas décadas o por el promedio de intensidad máxima de lluvias del sector.

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer uso de este estudio para el análisis de vulnerabilidad de otras cuencas o sub-cuencas del Ecuador que se encuentran bajo este mismo proceso de cambio en una línea de tiempo de las últimas décadas.
- Se debe concientizar e ilustrar a las comunidades sobre las afectaciones que realiza el ser humano sobre la vegetación, el uso del suelo, agua, etc. y los impactos negativos que estos pueden tener frente a eventos naturales como lo son las lluvias, inundaciones, deslaves, erosiones, etc.
- Se recomienda hacer un llamado a las autoridades competentes para hacer una mejora del ordenamiento territorial y la disposición del desplazamiento de las familias más cercanas a las faldas del cauce o al detenimiento del crecimiento urbanístico e infraestructura en las zonas de riesgos.
- Como última recomendación se da la de tomar la iniciativa de una reforestación arbustiva aledaña a los cauces con plántulas de crecimiento a corto plazo, para que sirvan de sustento al suelo y de barreras naturales ante posibles inundaciones o lluvias fuertes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

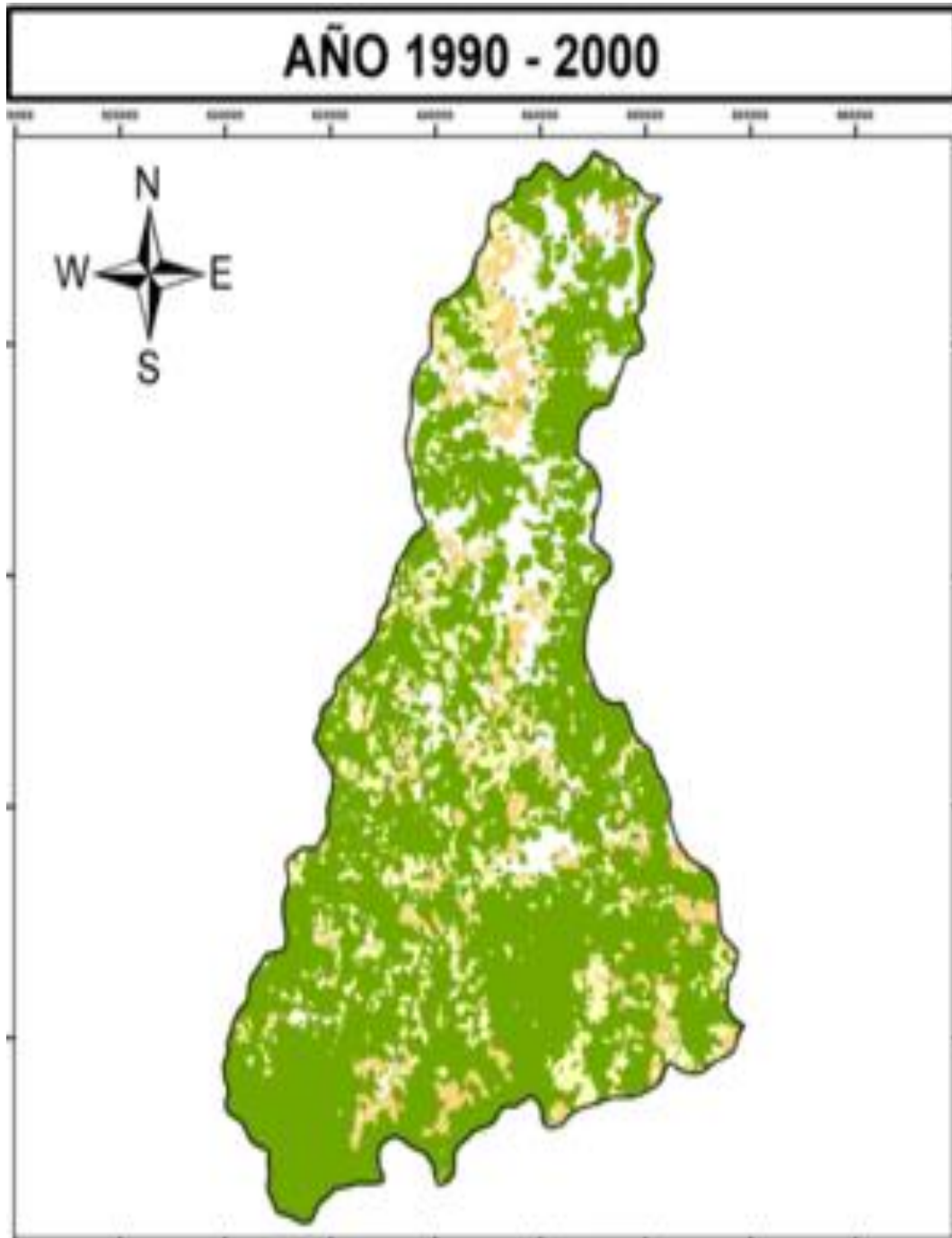
1. Toledo, A. El agua en México y el mundo. *Gaceta ecológica* (64), 2002;9-18.
2. Valencia Rojas, M. P., Figueroa Casas, A., Ruiz Ordóñez, D. M., Otero Sarmiento, J. D., Martínez Idrobo, J. P., Ceballos Sarria, V. E., ... & González Quijano. Metodología para el análisis de vulnerabilidad en cuencas abastecedoras de agua ante la variabilidad climática. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 2014; 13(25), 29-43.
3. Maldonado, A. La evolución del crecimiento industrial y transformación productiva en Colombia 1970-2005: patrones y determinantes. 2010; *Escuela de Economía*.
4. Faustino, J., & Jiménez Otárola, F. (2000). Manejo de cuencas hidrográficas.
5. Conde-Álvarez, C., & Saldaña-Zorrilla, S. Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Ambiente y desarrollo*, 23(2), 2007; 23-30.
6. Bustamante, M. R., Ron, S. R., & Coloma, L. A. Cambios en la Diversidad en Siete Comunidades de Anuros en los Andes de Ecuador 1. *Biotropica: The Journal of Biology and Conservation*, 37(2), 2005;180-189.
7. Sánchez Robles, J. M., & Torres Muros, L. Aprendizaje activo para la enseñanza del medio natural: una experiencia vivencial sobre el Ecuador megadiverso; 2017.
8. Crespo, P., Célleri, R., Buytaert, W., Ochoa, B., Cárdenas, I., Iñiguez, V., ... & De Bièvre, B. Impactos del cambio de uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos húmedos andinos. *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos. CONDESAN*, 2014; 288-304.
9. Hernández-Tapia, G. M. Ríos urbanos. Análisis de la relación entre el desarrollo urbano y la pérdida de los ecosistemas fluviales;2017.
10. Romero, H., Molina, M., Moscoso, C., Sarricolea, P., Smith, P., & Vásquez, A. Caracterización de los cambios de usos y coberturas de suelos causados por la expansión urbana de Santiago, análisis estadístico de sus factores explicativos e inferencias ambientales. *Santiago de Chile, Movilidad Espacial y Reconfiguración Metropolitana*, 2007; 251-270.

11. Garzón, L. J. R., & Jiménez, V. L. L. Vulnerabilidad hídrica de la cuenca del río Blanco, en el municipio de La Calera, considerando los escenarios de cambio climático propuestos por la corporación autónoma regional de Cundinamarca-Car. *Publicaciones e Investigación*, 11(1), 2017; 77-88.
12. Calle, C. A. X. C., Zambrano, R. F. V., & Coronel, B. J. D. M. Maestría en Investigación en Ciencias de la Ingeniería para la Gestión de los Recursos Hídricos. Caracterización SIG del uso de la tierra y geomorfología del Macizo del Cajas-Ecuador, 2020.
13. Anónimo. Diario La Hora. Recuperación del Teaone, un proyecto y nada más; extraído de: <https://www.lahora.com.ec/noticias/16-recuperaci-n-del-teaone-un-proyecto-y-nada-m-s/>
14. Wilches-Chaux, G. La vulnerabilidad global. *Los desastres no son naturales*, 1993; 11-44.
15. Bernal, J. L. C., Cuenca, L. A. B., & Vásquez, J. A. C. Variables determinantes en el crecimiento económico del Ecuador función Cobb-Douglass 2007-2019. *Sociedad & Tecnología*, 4(2), 2021; 109-122.
16. Romero, H., Molina, M., Moscoso, C., Sarricolea, P., Smith, P., & Vásquez, A. Caracterización de los cambios de usos y coberturas de suelos causados por la expansión urbana de Santiago, análisis estadístico de sus factores explicativos e inferencias ambientales. Santiago de Chile, *Movilidad Espacial y Reconfiguración Metropolitana*, 2007; 251-270.
17. Merlotto, A., Piccolo, M. C., & Bértola, G. R. (2012). Crecimiento urbano y cambios del uso/cobertura del suelo en las ciudades de Necochea y Quequén, Buenos Aires, Argentina. *Revista de Geografía Norte Grande*, (53), 159-176.
18. Garzón, L. J. R., & Jiménez, V. L. L. Vulnerabilidad hídrica de la cuenca del río Blanco, en el municipio de La Calera, considerando los escenarios de cambio climático propuestos por la corporación autónoma regional de Cundinamarca-Car. *Publicaciones e Investigación*, 11(1), 2017; 77-88.
19. Sabattini, R. A., Sione, S. M., Ledesma, S. G., Sabattini, J., & Wilson, M. G. Estimación de la pérdida de superficie de bosques nativos y tasa de deforestación en

- la Cuenca del Arroyo Estacas (Entre Ríos, Argentina). *Revista Científica Agropecuaria*, 20(1-2), 2016; 45-56.
20. Hernández-Tapia, G. M. Ríos urbanos. Análisis de la relación entre el desarrollo urbano y la pérdida de los ecosistemas fluviales, 2017.
 21. Ramírez, M. L., & Pértile, V. C. Crecimiento poblacional, expansión urbana y cambio de usos de suelo en ciudades intermedias de la provincia del Chaco, Argentina: El caso de Juan José Castelli. *Estudios socioterritoriales*, 2017; 21, 0-0.
 22. Valencia Rojas, M. P., Figueroa Casas, A., Ruiz Ordóñez, D. M., Otero Sarmiento, J. D., Martínez Idrobo, J. P., Ceballos Sarria, V. E., ... & González Quijano, D. Metodología para el análisis de vulnerabilidad en cuencas abastecedoras de agua ante la variabilidad climática. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(25), 2014; 29-43

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de deforestación de la cuenca del Río Teaone período 1990-2000



Anexo 2. Tabla de la deforestación anual promedio de la cuenca del Río Teaone

DEFORESTACIÓN ANUAL PROMEDIO					
AÑOS	ÁREAS DE BOSQUE PERIODO INICIAL (Ha)	ÁREAS DE BOSQUE PERIODO FINAL (Ha)	PERIODO INICIAL	PERIODO FINAL	DEFORESTACIÓN ANUAL PROMEDIO (Ha/año)
1990-2000	36445,37	29626,91	1990	2000	681,85
2000-2008	29626,91	26287,10	2000	2008	417,48
2008-2014	26287,10	25114,81	2008	2014	195,38
2014-2016	25114,81	24839,32	2014	2016	137,75
2016-2018	24839,32	22994,04	2016	2018	922,64

$R = \frac{A1 - A2}{T2 - T1}$

A1 : áreas de bosque en el periodo inicial
A2 : áreas de bosque en el periodo final
T1 : periodo inicial
T2 : periodo final
 (Puyravaud,2002)

Anexo 3. Tabla de la tasa de cambio anual de la cuenca del Río Teaone

TASA DE CAMBIO ANUAL					
AÑOS	ÁREAS DE BOSQUE PERIODO INICIAL (Ha)	ÁREAS DE BOSQUE PERIODO FINAL (Ha)	PERIODO INICIAL	PERIODO FINAL	DEFORESTACIÓN ANUAL PROMEDIO (Ha/año)
1990-2000	36445,37	29626,91	1990	2000	-2,07
2000-2008	29626,91	26287,10	2000	2008	-1,50
2008-2014	26287,10	25114,81	2008	2014	-0,76
2014-2016	25114,81	24839,32	2014	2016	-0,55
2016-2018	24839,32	22994,04	2016	2018	-3,86

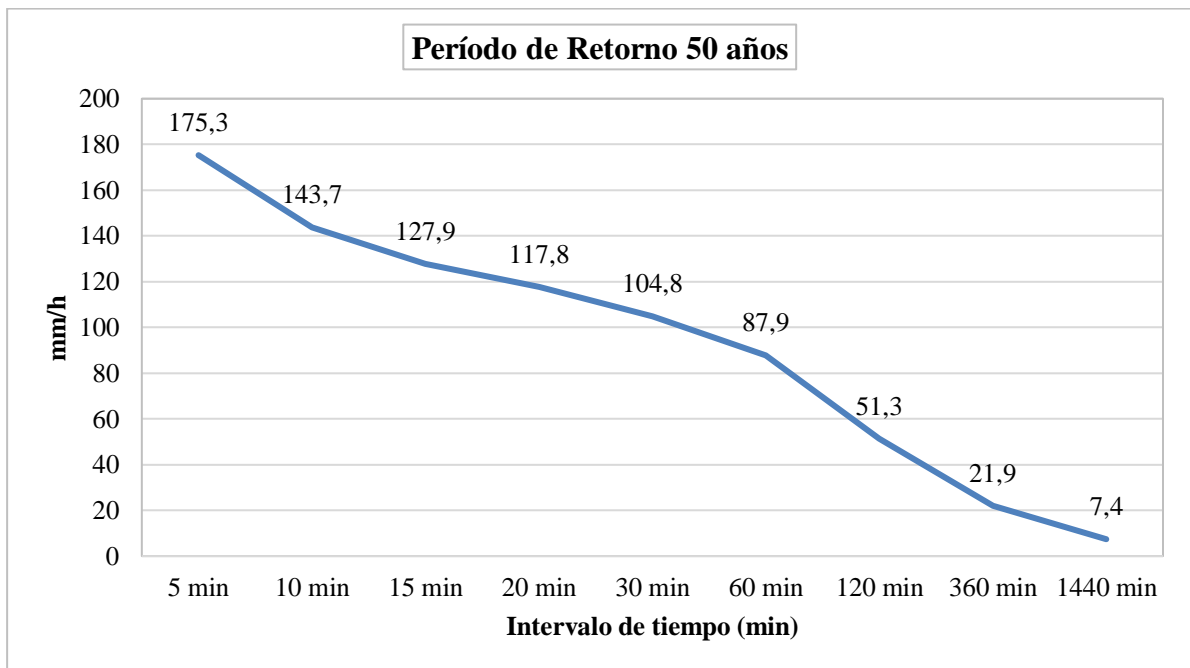
$r = \frac{1}{t2-t1} \ln \frac{A2}{A1} \times 100$

A1 : áreas de bosque en el periodo inicial
A2 : áreas de bosque en el periodo final
T1 : periodo inicial
T2 : periodo final
 (Puyravaud,2002)

Anexo 4. Tabla de deforestación y transición del uso del suelo de la cuenca del Río Teaone.

AÑO	DEFORESTACIÓN TRANSICIÓN USO DE SUELO						TOTAL AREA DEFORESTACIÓN POR TRANSICIÓN
	CULTIVO ANUAL (Ha)	CULTIVO SEMIPERMANENTE (Ha)	INFRAESTRUCTURA (Ha)	MOSAICO AGROPECUARIO (Ha)	PASTIZAL (Ha)	ÁREA POBLADA (Ha)	
1990 - 2000	45,21	6,96	2,4	3778,73	3742,88	77,77	7653,95
2000 - 2008	21	8,4	3,25	2918,27	1120,73		4071,65
2008 - 2014		9,67		465,62	982,19	6,03	1463,51
2014 - 2016			24,49	1561,12		0,56	1586,17
2016 - 2018			1,26	500,12		2,7	504,08

Anexo 5. Registro de intensidad de lluvias de la cuenca del Río Teaone con período de retorno de 50 años.



Anexo 6. Registro de intensidad de lluvias de la cuenca del Río Teaone con período de retorno de 100 años.

