

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES
ESCUELA DE GEOGRAFÍA

RELACIONES ENTRE INUNDACIONES, COBERTURA BOSCOsa Y
CRECIMIENTO URBANO EN SAN RAFAEL ARRIBA Y SAN JUAN DE DIOS DE
DESAMPARADOS DURANTE EL PERIODO 2000-2018

por

Bach. María José Farrier Briceño

Práctica dirigida presentada a la Comisión de Trabajos Finales de Graduación
de la Escuela de Geografía para el cumplimiento parcial
de requisitos para obtener el grado de
Licenciatura en Geografía
Febrero, 2023

Miembros del comité:

Director, DEA Pascal Girot Pignot

Lector, Dr. Edgar Espinoza Cisneros

Lector, PhD, Ing. Eduardo Pérez Molina

Tribunal examinador

Luis Guillermo Artavia R.

M.Sc. Guillermo Artavia Rodríguez, Presidente del tribunal Examinador



M.Sc. Marlon Morúa Pérez, lector del tribunal Examinador



DEA Pascal Girot Pignot, Director del comité asesor



Dr. Edgar Espinoza Cisneros, lector del comité asesor



PhD, Ing. Eduardo Pérez Molina, lector del comité asesor



Bachiller María José Farrier Briceño, sustentante

DERECHOS DE AUTOR

por

María José Farrier Briceño

2023

USO JUSTO Y DECLARATORIO DE PERMISOS DE AUTOR

Uso justo

El presente trabajo está protegido por la normativa vigente de derechos de autor de la República de Costa Rica. De forma consistente, se permite citas breves de este material con el adecuado y apropiado reconocimiento. El uso de este material con fines de lucro o comerciales no está permitido sin el consentimiento expreso del autor, autora o autores

Permiso de duplicación

Como dueña de los derechos de autor de este trabajo, yo, María Jose Farrier Briceño, niego el permiso de copiar, al excederse del criterio de uso justo, este documento sin un consentimiento escrito expreso.

DEDICATORIA

En primer lugar, a mi abuela materna Agustina López Fajardo que este año se cumplen 6 años de su partida (QPD) y uno de sus sueños era verme realizada como profesional, hoy allá en el cielo sé que ella me sigue apoyando, me sigue cuidando y sobre todo se enorgullece de este, mi gran triunfo.

En segundo lugar, a mis padres Lino y Rosa y a mis hermanos Laura y Luis quienes también son mi apoyo incondicional, sin ellos no hubiera sido posible llegar hasta acá, este logro es compartido y ellos se merecen los méritos tanto como yo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por acompañarme siempre y permitirme llegar hasta este momento, sé que a partir de aquí es el comienzo de una nueva etapa, de nuevas aventuras en las cuales seguirá de mi mano y siendo mi apoyo incondicional.

Agradezco profundamente a la Universidad de Costa Rica por su extraordinaria enseñanza, su formación de profesionales es única y me enorgullece ser parte de estos. Al sistema de becas de la universidad por permitirme a mí y a tantas personas forjar su camino en la educación, este sistema es invaluable y debe protegerse siempre. Al Sistema de Bibliotecas Documentación e Información (SIBDI) por su gran servicio a la comunidad universitaria, su catálogo es invaluable y a lo largo de la carrera me sirvió de gran apoyo en la consulta de material. A la Escuela de Geografía, por tanto, fue mi casa durante más de 6 años y agradezco profundamente la educación que allí se me brindó, las enseñanzas, los profes, los laboratorios, las giras y las clases de cada curso que ha dejado su aprendizaje.

Doy las gracias también a mi comité asesor con formado por: DEA Pascal Girot, Dr. Edgar Espinoza y PhD. Eduardo Pérez, por la paciencia, por las reuniones, por sus aportes y por dejarme expresar mis ideas y conocimiento, sus conocimientos y comentarios fueron de gran ayuda en este proceso. Como parte del proceso específicamente en el uso de herramientas SIG agradezco a Andrés Chavarría, colega geógrafo quien me guio en el desarrollo del mapeo general durante el año 2021 y 2022, tu ayuda fue increíble Andrés, gracias.

A aquellas personas que conocí en el camino y con las que compartí muchas anécdotas de la vida universitaria, a compañeros de la carrera que se convirtieron en amigos y compartimos tantas anécdotas durante la carrera especialmente giras, también trabajos, laboratorios, almuerzos y todo lo que la convivencia en la U lleva. A mis mejores amigas: Allison, Keylin y Valeria por no abandonarme nunca, por siempre escucharme y apoyarme, por confiar en mis capacidades y creer en mí siempre, son un gran pilar en mi vida, las amo infinitamente.

A mis familiares por preguntarme siempre cómo me iba en la U y por el apoyo. A mis padres y hermanos por siempre apoyarme y motivarme con los estudios, por no abandonarme nunca, por cuidarme, apoyarme y por siempre ser los primeros en todo en mi vida, los amo por siempre.

LISTA DE CONTENIDOS

	Página
LISTA DE IMAGENES	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE MAPAS.....	xiv
LISTA DE GRÁFICOS.....	xv
LISTA DE TABLAS.....	xvi
LISTA DE ABREVIACIONES	xviii
RESUMEN	xix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	3
III. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	5
IV. PROBLEMA.....	7
V. OBJETIVOS	8
VI. ANTECEDENTES.....	9
Relaciones entre pérdida de cobertura boscosa, crecimiento urbano e inundaciones.....	9
Servicios Ecosistémicos Urbanos.....	14
A nivel nacional.....	17
VII. MARCO CONCEPTUAL.....	20
Servicios Ecosistémicos	20
Cobertura Boscosa.....	21
Inundaciones.....	22

	Crecimiento urbano.....	23
	Ordenamiento Territorial.....	24
	Gestión del riesgo.....	25
	A nivel nacional.....	26
VIII.	MEDODOLOGÍA	28
	Cambios espacio temporales en la cobertura de la tierra	28
	Relación entre cambios en la cobertura de la tierra y la incidencia en inundaciones	33
	Zonificación como herramienta de Ordenamiento territorial para reducir efectos de inundaciones.....	37
IX.	CAPÍTULO I: CAMBIOS ESPACIO TEMPORALES EN EL USO DE LA TIERRA.....	38
	Cambio en el uso de la tierra: concepto y aproximaciones.....	38
	Cambios en la cobertura boscosa, expansión urbana y transformaciones afines.....	39
	Resultados.....	49
X.	CAPÍTULO II: RELACIÓN ENTRE CAMBIOS EN LA COBERTURA DE LA TIERRA Y LA INCIDENCIA EN INUNDACIONES.....	63
	Análisis de SE y su integración en procesos de toma de decisiones.....	63
	Generación de escorrentía e inundaciones urbanas.....	66
	Resultados.....	73
XI.	CAPÍTULO III. ZONIFICACIÓN COMO HERRAMIENTA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARA REDUCIR EFECTOS DE INUNDACIONES.....	90
	Ordenamiento Territorial y gestión del riesgo.....	90
	Gestión del riesgo nacional y en la zona de estudio.....	92

Delimitación de zonas con riesgo de inundación y herramienta de Ordenamiento Territorial.....	95
CONCLUSIONES.....	102
BIBLIOGRAFIA.....	106

LISTA DE IMÁGENES

Imagen	Página
1. Sitio web de la NASA donde se obtuvo el DEM.....	34
2. Área zona franca Las Brisas en el año 2005 y 2017.....	57
3. Zona Franca Las Brisas	55
4. Área del Centro Comercial Expresso en los años 2005 y 2017.....	59
5. Zonificación del plan regulador de Desamparados.....	98

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Plan para inconsistencias.....	30
2. Selección de los puntos para la generación de la cuenca.....	35
3. Factores causantes de pérdida de cobertura boscosa.....	42
4. Hallazgos particulares sobre la expansión urbana.....	81
5. Vulnerabilidad ante eventos hidrometeorológicos.....	47
6. Perfil de vulnerabilidad promedio según componente por distrito.....	48
7. Desafíos a nivel de Ordenamiento Territorial.....	93

LISTA DE MAPAS

Mapa	Página
1. Área de estudio.....	6
2. Cobertura boscosa por % para el año 2000	49
3. Pérdidas boscosas por año durante el periodo 2001-2018.....	51
4. Ubicaciones de los hallazgos particulares.....	56
5. Cobertura urbana para el año 2005.....	60
6. Cobertura urbana para el año 2017.....	61
7. Cuenca para el área de estudio.....	74
8. Red de alcantarillado y acueductos pluviales.....	75
9. Red de acumulación presente en la cuenca de estudio.....	77
10. Cobertura del uso del suelo.....	82
11. Resultados generados por el modelo.....	85
12. Escorrentía (vector)	96
13. Sitios de riesgo.....	100

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico	Página
1. Población total por cantón y distrito.....	46
2. Inundaciones en San Rafael Arriba.....	78
3. Inundaciones en San Juan de Dios.....	79
4. Comparación de pérdida de cobertura boscosa y escorrentía por año.....	87
5. Aumento del área en la cobertura urbana.....	88

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Recodificación para la capa de cobertura.....	32
2. Factores indirectos de la expansión de asentamientos urbanos e infraestructura.....	41
3. Estadísticas para los datos de la cobertura del año 2000.....	49
4. Cantidad de objetos espaciales por categoría.....	50
5. Estadísticas para los datos de pérdida de cobertura durante el periodo 2001-2018.....	51
6. Hallazgos con particularidades de las pérdidas de cobertura boscosa.....	52
7. Estadísticas para los datos de la cobertura urbana del año 2017.....	61
8. Clasificación de los Servicios Ecosistemcios.....	63
9. Medidas de control de las inundaciones.....	72
10. Numero de curva para los tipos de uso del suelo.....	83
11. Variables reportadas para el tipo de suelo.....	84
12. Datos del servicio de riesgo de inundación.....	86

LISTA DE ABREVIACIONES

Abreviación	Descripción
GAM	Gran Área Metropolitana
SE	Servicios Ecosistémicos
GRRD	Gestión y reducción del riesgo de Desastres
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
SIG	Sistema de Información Geográfica
CIA	Centro de Investigaciones Agronómicas
FONAFIFO	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
SETENA	Secretaría Técnica Nacional
OT	Ordenamiento Territorial
PLANOT	Plan Nacional de Ordenamiento Territorial
PNOT	Política Nacional de Ordenamiento Territorial
PRUGAM	Planificación Regional y Urbana de la Gran Área Metropolitana
MIVAH	Ministerio de Vivienda y Asentamientos Urbanos
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
CNE	Comisión Nacional de Emergencias
SNIT	Sistema Nacional de Información Territorial
IGN	Instituto Geográfico Nacional
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
PEN	Programa Estado de la Nación
TAA	Tribunal Ambiental Administrativo

RESUMEN

En las últimas décadas Costa Rica ha experimentado varias etapas en cuanto a cambios en la cobertura boscosa, desde momentos críticos hasta una recuperación exitosa (Sánchez, 2015); esta clase de altibajos en sistemas naturales provoca alteraciones y afecta ecosistemas, desde aproximadamente el inicio de la década de los 90 esta pérdida de cobertura boscosa se combina con el aumento en la cobertura urbana y las afectaciones incrementan, específicamente las coberturas urbanas impermeabilizan los suelos y contribuye a una mayor generación de escorrentía que sumado con otros factores deriva en inundaciones. En la presente investigación se evalúa las relaciones existentes entre cobertura boscosa, crecimiento urbano e inundaciones en los distritos de San Juan de Dios de Desamparados y San Rafael Arriba de Desamparados durante el periodo 2000-2018 bajo la premisa de que la cobertura boscosa brinda una serie de servicios ecosistémicos que benefician el territorio donde se encuentren; esto a partir de análisis de imágenes satelitales, datos de pérdida de cobertura boscosa y aumento en la cobertura urbana, seguido de la modelación de escorrentía a partir de variables de interés y por último la exposición actual en temas de Ordenamiento Territorial que pueda minimizar los efectos de las inundaciones y contribuir a un desarrollo de la ciudad más óptimo y en equilibrio con el medio natural.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano que ha experimentado el Gran Área Metropolitana (GAM) en los últimos años en su mayoría no ha sido guiado por instrumentos de ordenamiento territorial generando consecuencias en diversos ámbitos, por ejemplo, a nivel ambiental lo cual origina un mayor riesgo de desastre en sectores vulnerables; posterior a estos patrones irregulares de crecimiento en cuanto al uso del suelo se enfrentan retos como: riesgo y vulnerabilidad al cambio climático, afectación a recursos naturales (Martínez, 2014; Programa Estado de la Nación, 2018).

Una de las consecuencias ambientales es la disminución en la cobertura boscosa provocando afectación en los servicios ecosistémicos como es el caso de la regulación de inundaciones en dónde al darse una disminución en la cobertura boscosa quedan al descubierto los terrenos y se genera una mayor cantidad de escorrentía con potencial de convertirse en inundación jugando así la cobertura un papel importante en dicho proceso (Balvanera, 2012). Con base en dicha premisa se pretende evaluar las relaciones existentes entre inundaciones, cobertura boscosa y crecimiento urbano en San Rafael Arriba y San Juan de Dios de Desamparados durante el periodo 2000-2018, uno de los cantones que ha presentado procesos de fragmentación boscosa y transformaciones en la estructura de su paisaje, así como aumentos en la población y por tanto demanda de cobertura urbana y frecuentes inundaciones en ríos que atraviesan el cantón (Arroyo González, 2011; Morera & Sandoval, 2018; Quesada & Calderón, 2018)

Para llevar a cabo esta evaluación se desarrollan 3 áreas temáticas, en el primer capítulo discuto acerca de las transformaciones ocurridas en el paisaje y la configuración habitacional / comercial en los distritos de estudio, así como la pérdida / cambio ocurrido durante los 18 años del periodo de estudio. En el capítulo 2 expongo sobre como los servicios ecosistémicos son útiles a tomar en cuenta en procesos de tomas de decisiones, una presentación de la zona de estudio que incluye frecuencia de inundaciones y la aplicación de un software de Project Natural Capital, InVEST llamado “Urban flood risk mitigation” por su nombre en inglés.

Por último, en el capítulo 3 se integran las 2 áreas temáticas previas en torno al Ordenamiento Territorial y la gestión del riesgo en donde se analizan y proponen herramientas que pueden contribuir con la mitigación de inundaciones.

Al finalizar se concluye con una discusión en torno a los resultados obtenidos, sus implicaciones y como por medio de investigaciones es posible generar conocimiento y discusión para aportar en un desarrollo óptimo que integre la mayoría de las áreas y sea posible un beneficio mutuo para todos los actores involucrados.

II. JUSTIFICACIÓN

La presencia de cobertura boscosa en diversos territorios brinda una serie de servicios ecosistémicos (SE), como servicios de suministro (alimentos, combustibles, artesanías, madera entre otros), servicios de regulación climática, hidrológica, de calidad del agua, de erosión, inundaciones y servicios culturales como la cosmovisión, el ecoturismo y el bienestar estético Balvanera (2012). Asociado a esto, Zúñiga (2017) clasifica los beneficios del arbolado urbano como: control de la contaminación, regulación del equilibrio micro climático, protección contra el viento, protección de cuencas, control de la erosión y establecimiento de terrenos, entre otros.

Esta serie de beneficios se han visto afectados por un crecimiento urbano desordenado que han experimentado muchas ciudades en el contexto latinoamericano, específicamente el de regulación de inundaciones ya que, al haber una disminución en la cobertura boscosa los terrenos quedan descubiertos y se genera una mayor cantidad de escorrentía con potencial de convertirse en inundación, siendo este el problema de estudio (Balvanera, 2012). Si continúa el crecimiento urbano ¿qué escenarios se tendrán sin estos beneficios?

Para Gómez (2018, p. 3) “El indebido ordenamiento territorial es el principal causante de la degradación del paisaje a nivel de áreas de protección de cuerpos de agua, los cuales intentan comprender franjas de bosques ribereños, o bien, corredores biológicos urbanos, que fungen como soportes y barreras ante desastres de índoles naturales y/o provocados por el ser humano.”

El crecimiento urbano que ha experimentado el GAM en los últimos 20 años evidencia debilidades en temas de Ordenamiento Territorial, los planes reguladores existentes a nivel municipal son obsoletos y requieren de una actualización más acorde a lo que vive y experimenta Costa Rica hoy en día. Para la mitad del año 2018 de los 81 municipios del país en ese entonces solo 20 municipios contaban con un plan regulador cantonal para la totalidad de su territorio. El cantón en estudio, Desamparados cuenta con plan regulador parcial vigente para el plan de gobierno 2020-2024 (Municipalidad de Desamparados, s.f.; Programa Estado de la Nación, 2018).

Uno de los retos y riesgos para la Región Central (dentro de la cual se contempla la GAM) mencionados en el vigésimo primer informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano

Sostenible es “la afectación a recursos naturales y contaminación: El modelo urbano expansivo, devorador de suelos y poco eficiente energéticamente implica serios riesgos a la calidad del aire, las aguas superficiales y los acuíferos de la GAM.” Y como reto a nivel de Gobierno Local, la Municipalidad de Desamparados, presenta un vacío en las funciones del tema Gestión para la Reducción del Riesgo ante Desastres (GRRD), más allá de solo trabajar planes de prevención, además de la existencia nula de una unidad de trabajo específicamente para eso y la poca coordinación interinstitucional (Aguilar et *al.*, 2018; Martínez, 2014, pp. 27–28).

Desde la geografía como ciencia interdisciplinaria y capaz de trabajar con sistemas se pueden brindar insumos para incidir en la toma de decisiones, en temas de políticas públicas y regulaciones, en este caso empezando por la municipalidad con miras a gestión de riesgo de cara al cambio climático.

III. CARACTERIZACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO

Desamparados se sitúa al sur de la capital; es el cantón número tres de la provincia de San José. De acuerdo con el Censo del 2011, la población del cantón supera los 208.411 habitantes y su extensión es de 118.26km² mientras que, en proyecciones del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), para el año 2020 se estimaban 245.208 de habitantes implicando un incremento de 17.7%. Además, el porcentaje de población urbana alcanzaba los 93,6% y la población ocupada por sector económico se distribuye de la siguiente manera: 2,2% al sector primario, 19,6% al sector secundario y 78,2% al sector terciario (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2013; Municipalidad de Desamparados, s.f.). Desamparados limita al norte con Alajuelita, San José, Curridabat y La Unión; al oeste con Aserrí; al sur con León Cortés y Dota y al este con Cartago y el Guarco. Fundado en 1862, y está conformado por 13 distritos (Quesada & Calderón, 2018).

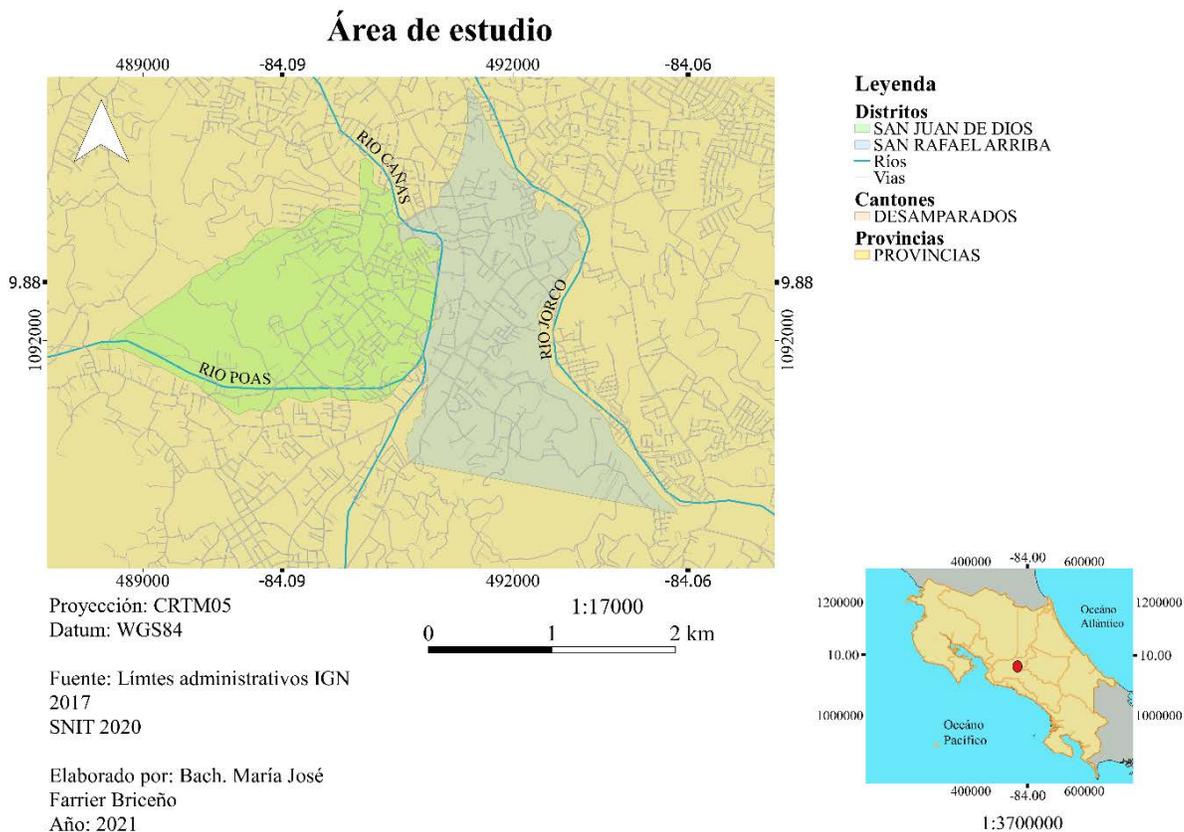
Para trabajar la problemática específica los distritos fueron seleccionados de acuerdo con los siguientes criterios: ambos son urbanos (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2016), son los distritos con mayor cantidad de eventos registrados en Desinventar (31 eventos en San Juan de Dios, 15 eventos en San Rafael Arriba), existe información satelital suficiente para determinar cambios en la cobertura del suelo a partir de imágenes de Landsat y, de acuerdo con Hansen (2013) y Quesada & Calderón (2018) muestran transformaciones de 3 cobertura del suelo que son de interés.

En cuanto a las características del terreno, “presenta actividades geodinámicas, tanto internas como externas, debido al origen, evolución, morfologías y dinámicas del relieve actual, condiciones que hacen de este territorio un espacio geográfico idóneo para el desarrollo de procesos naturales que podrían ser peligrosos para la población. Esta unidad territorial podría ser dividida, de acuerdo con sus características fisiográficas en las planicies y rampas, así como en las zonas montañosas” (Vargas, 2012).

En cuanto a aspectos climáticos la temperatura promedio del cantón es de 22°C y sus condiciones son templadas, las montañas presentes en el territorio permiten que no haya vientos y fríos extremos, siempre se encuentra bajo influencia de los vientos alisios del noroeste, pero su dirección es variable en los meses lluviosos. Por otro lado, en lo que al sistema fluvial se refiere, el mismo pertenece a la vertiente del Pacífico con una

desembocadura en la cuenca de los ríos Pirris y Grande de Tárcoles. A la ciudad la atraviesan los ríos: Damas, Tiribí y Cucubres y Jorco, además del río Cañas que nace en Aserrí y pasa por el territorio desamparadeño (Arroyo González, 2011; Corella Sáenz, 2009). El mapa 1 muestra la zona de estudio:

Mapa 1. Distritos San Juan de Dios y San Rafael Arriba



IV. PROBLEMA

El crecimiento urbano que ha experimentado la GAM en los últimos años no ha sido guiado por instrumentos de ordenamiento territorial o políticas públicas, lo que trae consecuencias en diversos ámbitos, entre ellos las diversas afectaciones ambientales que se originan por un mayor riesgo de desastre en sectores vulnerables (Programa Estado de la Nación, 2018). De igual manera, para Martínez (2014) luego de analizar los patrones de crecimiento del uso del suelo se enfrentan retos como: riesgo y vulnerabilidad al cambio climático, la afectación a recursos naturales y contaminación debido al modelo urbano extensivo con cambios de uso de suelo y poco eficiente; implicando riesgos para la calidad del aire, las aguas superficiales y los acuíferos de la GAM.

Una de estas consecuencias ambientales es la disminución en la cobertura boscosa que provoca una afectación a los servicios ecosistémicos, específicamente al de regulación de inundaciones en el que la cobertura boscosa toma un papel en el proceso, por lo que al haber una disminución de estos quedan al descubierto los terrenos y se genera una mayor cantidad de escorrentía con potencial de convertirse en inundación (Balvanera, 2012). Específicamente, Desamparados presenta procesos de fragmentación boscosa desde el año 2000 clasificándose con baja fragmentación con un valor de cobertura natural (en hectáreas) de 6344.69 y 178 fragmentos con el índice de fragmentación en 2.91 mientras que para el año 2015 pasó a la categoría de fragmentación moderada con un valor de cobertura natural de 7156.94 (en hectáreas), un número de fragmentos de 313 y el índice de fragmentación en 0.2 como consecuencia de las dinámicas económicas territoriales que originan transformaciones en la estructura del paisaje (Morera & Sandoval, 2018).

Entonces, la problemática a raíz de la disminución boscosa deriva en inundaciones. Los ríos ubicados en el cantón de Desamparados que presentan mayor frecuencia de inundaciones son el Río Cañas, el Río Tiribí y el Río Cucubres con incidencias de 1 al año. Entre el período de 1974-2014 se presentaron 423 eventos por inundación y entre el período 2000-2006 Desamparados se catalogó como el cantón más afectado por inundaciones y deslizamientos de Costa Rica con 97 eventos para el primero y 90 para el segundo (Arroyo González, 2011; Quesada & Calderón, 2018).

V. OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar el grado de afectación por inundaciones producto de los cambios en la cobertura de la tierra en los distritos San Juan de Dios y San Rafael Arriba del cantón de Desamparados durante el período 2000-2018

Objetivos específicos

1. Analizar los cambios espaciotemporales en la cobertura de la tierra en los distritos San Juan de Dios y San Rafael Arriba del Cantón de Desamparados durante el período 2000-2018.
2. Establecer la relación entre cambios en la cobertura de la tierra y la incidencia en inundaciones.
3. Proponer herramientas de Ordenamiento Territorial a partir de la delimitación de zonas con riesgo de inundación para reducir sus efectos.

VI. ANTECEDENTES

En esta sección se presentan investigaciones previas afines a las relaciones entre pérdida de cobertura boscosa, crecimiento urbano e inundaciones así como servicios ecosistémicos urbanos; principalmente artículos científicos a nivel internacional debido a que la literatura a nivel nacional es escasa y si bien son a escalas y en sitios diferentes, los resultados y conclusiones de estas pueden guiar la línea de investigación querida, además de incluir antecedentes relacionados con la cobertura a nivel nacional sobre este tema que servirá como guía al desarrollo de la investigación.

Relaciones entre pérdida de cobertura boscosa, crecimiento urbano e inundaciones.

Machado et al (2019) realizaron un estudio para determinar la correlación entre la cubierta vegetal remanente y las ocurrencias registradas de movimientos masivos e inundaciones en Salvador/ Bahía, Brasil donde un problema estructural es la ocupación de áreas restringidas y ecológicamente frágiles sin tomar en cuenta en los planes de ocupación gubernamentales; tras el procesamiento de imágenes y datos de movimiento de masa e inundaciones y la utilización de métodos de correlación estadística se establecieron las relaciones entre la cobertura y las incidencias donde los resultados arrojaron que existen aproximadamente 600 áreas en riesgo en el Salvador por una combinación de factores como la falta de control en el uso de la tierra y su ocupación, altas pendientes, poca o nula cobertura boscosa; y, en el caso específico de las inundaciones se menciona que existen factores como pérdida de cobertura en áreas de preservación permanente, obstrucción del canal de drenaje, ocupación de llanura aluvial y sellado de suelo los cuales requieren de intervención.

Lourenço et al (2020) catalogan el incremento en las inundaciones como una consecuencia frecuente del descontrolado crecimiento urbano, las mismas se agravan producto de la remoción de la vegetación y de la ocupación de las llanuras fluviales; lo que incrementa las tasas de impermeabilidad por lo cual se pretendió demostrar que en el proceso de planificación urbana el sistema de drenaje puede actuar como un eje estructural, y el sistema de espacios abiertos puede brindar soluciones sostenibles y resilientes a los problemas de drenaje urbano, esto gracias a la capacidad de almacenamiento y mitigación de riesgo de inundaciones; los resultados arrojaron 3 posibles escenarios: crecimiento desordenado en la

cuenca, una reducción de los riesgos de inundación con niveles de inundación que disminuyen en aproximadamente 45 cm a lo largo del perfil del río y la alternativa de diseño utilizando las pautas propuestas.

La importancia de los bosques en el planeamiento del uso de la tierra con beneficios de regulación hídrica está bien establecida por Ellison et al (2017) cuando menciona que en contra parte con los procesos característicos del ciclo hidrológico como la transpiración, interceptación, evaporación, infiltración y recarga de aguas subterráneas la cubierta arbórea puede almacenar o reciclar cantidades de agua, generando un impacto positivo (y protección) en la cuenca y moderando las inundaciones. De igual manera “la remoción de árboles conduce a la compactación y endurecimiento del suelo, erosión del suelo, pérdida de transpiración, menor infiltración y aumento de la escorrentía, lo que promueve inundaciones” (Ellison et al., 2017, p. 56).

En un análisis realizado en la cuenca de Iguazú, Río de Janeiro se presenta un marco metodológico para la planificación y el diseño del paisaje urbano, esto proponiendo el sistema de drenaje como la estructura principal del proceso de planificación, dicho marco tiene 4 pasos generales, el primero un diagnóstico actual de la cuenca incluyendo aspectos urbanos y ambientales, en el segundo investiga y clasifica los espacios abiertos con potencial de interactuar con el diseño del drenaje urbano y como tercer paso se definen las pautas de planificación y diseño, para el cuarto paso se tiene una base derivada de los pasos anteriores que permite generar escenarios para sustentar el estudio y evaluar diversas alternativas de planificación (Lourenço et al., 2020).

En diversas ciudades el aumento de precipitación se ha convertido en una preocupación ambiental debido a que los suelos se encuentran impermeabilizados a lo que le suma el incremento de las lluvias anuales como consecuencias del calentamiento global (Zimmermann & Bracalenti, 2014). Por otro lado, a los ríos presentes en las ciudades siempre se les ha otorgado el papel de funcionar como límites, es decir siempre han estado allí, sin embargo, estos fueron moldeados por el crecimiento de la mancha urbana, a partir de ahí se puso en juego la inundación como un problema por solucionar; lo que no se contempló fue que la ocupación de riberas y llanuras de inundación han alterado ya los cauces de los ríos y

eliminados los árboles lo que provoca entre otras cosas procesos erosivos y las mismas inundaciones (Perona, 2017).

En cuanto al rol de los bosques en relación con el agua y su retención e infiltración, los ecosistemas forestales permiten la regeneración de recursos hídricos y la protección contra las inundaciones se considera una medida de protección eficiente, esto porque las raíces estabilizan el suelo y contribuyen con la disminución de la erosión y los deslizamientos, por otro lado, la cobertura llámese copas interceptan la lluvia; sin embargo, esto es más visible en áreas pequeñas ya que en áreas grandes el suelo alcanza su grado máximo de saturación y se depende también de factores geológicos y edafológicos (Brüschweiler et al., 2004).

Los árboles urbanos pueden contribuir en la gestión de aguas pluviales de diversas formas, una de ellas es la intercepción de la lluvia por parte de las hojas que incluye procesos como la evaporación y la transpiración, dependiendo del tamaño y las especies un solo árbol puede almacenar 100 galones o más antes de alcanzar la saturación lo que indica que muchos árboles en una comunidad pueden tener una intercepción y redistribución de agua significativa; se estima que el bosque urbano puede reducir la escorrentía anual entre dos y siete puntos porcentuales y este en combinación con otros paisajes naturales pueden reducir hasta 65% la escorrentía de tormentas en desarrollos residenciales (Fazio, 2010). A esto se le suman los efectos de anclaje y absorción de las raíces ya que con esto se contribuye a la estabilización del suelo, a la recarga de agua subterránea y a un agua más limpia para el suministro de agua potable por lo que “el papel de los árboles en la retención de aguas pluviales y sus consiguientes beneficios para la salud pública y los presupuestos municipales merece una mayor apreciación. Es una razón más por la que la plantación y cuidado de árboles en nuestras comunidades es de importancia crítica”(Fazio, 2010, p. 1).

En un estudio realizado en Málaga, España sobre la relación entre los cambios en el uso del suelo y el incremento en inundaciones y erosión, se menciona que la escasez de cobertura no facilita los procesos de infiltración radicular ni de intercepción del suelo por lo que este y sus capas quedan expuestas al arrastre donde un incremento de estos podría derivar en crecidas; con una metodología basada en antecedentes, elaboración y análisis cartográfico y estimaciones se analizaron 3 zonas en las que se determina que el tipo de uso de suelo es el factor más influyente en los procesos dinámicos ya que se encuentra condicionado por la

intervención humana; en dicho análisis se compararon datos de 1957 y de 2007, para el primero en la zona correspondiente al litoral periurbano se obtuvieron notables diferencias con umbrales de esorrentía más altos, lo que indica que los mismos han disminuido con el paso del tiempo y el aumento de la cobertura urbana como desarrollos turísticos periurbanos y de residencia que incrementan la posibilidad de inundaciones y la pérdida de suelos en toda la franja costera litoral, en general las superficies urbanas e infraestructuras han pasado de 5 % de cobertura casi el 50 % desde 1957 hasta 2007. Mientras que, en zonas reforestadas el umbral de esorrentía es alto gracias a la presencia de cobertura (Gallegos & Perles, 2019).

En otro estudio de cambios de coberturas y su vulnerabilidad a inundación, aunque más enfocado a cambios en cobertura agrícola se analizó información referente a eventos de inundación y precipitación, se realizaron mapas de cambios en la cobertura vegetal y de pendientes; esto en el cauce bajo del río Papalopan, Veracruz en México, los resultados arrojaron que para 1973 las áreas de uso agropecuario ocupaban un 30.3% y las de cubierta forestal un 62.0%, matorral un 4.1% y otros usos 3.6%, mientras que para 1993 el uso agropecuario pasó a 51.1%, el de cubierta forestal a 41.7% registrando una deforestación de 20.4%, los autores mencionan que “precisamente en las subcuencas de los ríos San Juan Evangelista y Tesechoacán donde el incremento en los gastos máximos anuales tuvo lugar, sin duda producto de las modificaciones en la cubierta vegetal durante las últimas décadas. Es notable observar que el aumento en los gastos fue resultado de la deforestación en superficies con pendiente menor a 6°” (Pérez & Ortiz, 2002, p. 103) esto porque el análisis para los datos de inundaciones muestra un importante incremento con registros que oscilaban entre 500 a 1200 m³/s antes de 1969 pasando de 500 a 2300 m³/s después de esa fecha (Pérez & Ortiz, 2002).

En otro caso a nivel internacional específicamente en el delta del río Pearl en la ciudad de Foshan, China, se analizó el uso y cambio en la cobertura de la tierra durante el período 1988-2003 mediante sensores remotos y técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) además de realizar un análisis de datos hidrológicos durante 1962-2005, los resultados muestran que producto de la rápida urbanización se han perdido tierras agrícolas, bosques y arbustos desde 1988, más del 30% de los bosques y el 20% de los arbustos se convirtieron en áreas de cultivo y estos cambios aumentaron la presión sobre los sistemas de drenaje;

aproximadamente el 15% de los cuerpos de agua disminuyó durante el período de estudio y en las zonas dónde la tasa de pérdida fue más alta coinciden con la rápida urbanización y con los cambios asociados al uso del suelo, una consecuencia de la urbanización es que los arroyos y estanques presentes se llenan para la construcción de manera que se barnizan y reemplazan por zanjas modificadas y presas lo cual aumenta el sedimento y disminuye la capacidad del sistema de drenaje urbano que, producto también de la remoción de vegetación el aumento en el volumen de la escorrentía se encontró directamente relacionado con la expansión de las superficies impermeables aumentando la presión del drenaje, el nivel de los ríos interiores y diques durante las fuertes lluvias (Zhang et al., 2008).

La afirmación que los bosques proveen protección natural contra inundación ha sido reclamada y discutida, esto porque producto de inundaciones extremas cada año mueren y se desplazan cientos de miles de personas y resultan en billones de dólares en pérdidas, a raíz de eso Bradwash et al (2007) proponen una investigación con las siguientes hipótesis: la frecuencia de inundación incrementa conforme disminuye la cobertura boscosa natural y la gravedad asociada con inundaciones es más alta cuándo la cobertura boscosa natural es menor.

Su estudio es a nivel global y para llevarlo a cabo tras la recolección de datos utilizaron métodos de correlación y modelos, sin embargo, debido a la escala algunos datos no estaban disponibles por lo que utilizaron promedios para aproximar los valores de la frecuencia de inundación promediada por el modelo para cada país; los resultados arrojaron que la frecuencia de inundaciones se encuentra correlacionada positivamente con todas las variables de control y más débil con la pendiente, además, “las predicciones promediadas por el modelo basadas en una pérdida hipotética adicional de cubierta forestal natural del 10% dieron como resultado un aumento concomitante en la frecuencia de inundaciones prevista que oscilaba entre el 3,5% y el 28,1% entre los países considerados” (Bradshaw et al., 2007, p. 2386).

En cuanto a la gravedad, la frecuencia de inundación se relaciona negativamente con la pérdida de cobertura boscosa natural y se relaciona positivamente con la cobertura boscosa no natural, lo cual los autores catalogan como “poca evidencia de un efecto importante en este nivel de deforestación adicional” (Bradshaw et al., 2007, p. 2389) lo cual como los

autores también mencionan se vuelve un resultado empírico debido a que los mecanismos que impulsan el aumento de la escorrentía después de la deforestación son complejos por la cantidad de factores que intervienen y se relacionan, sin embargo su hallazgo contribuye a la discusión y de alguna u otra manera tiene valor ya que no necesariamente la influencia de la cobertura boscosa en la gravedad de inundaciones sea pequeña ya que al cambiar la escala de análisis se podrían obtener mejores resultados (Bradshaw et al., 2007).

Continuando con el debate Van Dijk et al (2009) en sus comentarios sobre el artículo expuesto anteriormente mencionan que “La evidencia hasta la fecha no es en parte concluyente y, por lo tanto, las nuevas fuentes de datos y análisis brindan una oportunidad importante para ampliar nuestra comprensión” (p.110) y más bien debería considerarse como un punto de referencia en la discusión. Además, consideran que las hipótesis no son las más indicadas porque “los eventos de lluvia dan lugar a inundaciones debido a una combinación variable de inusualmente alta intensidad, extensión espacial y / o duración, y estos interactúan con el área que contribuye a los flujos en un lugar”(van Dijk et al., 2009, p. 111) además de factores asociados al uso de la tierra, tipos de suelo, geología y geomorfología presente en la zona. Por lo que de este lado del debate se menciona que los estudios deben ser mejorados ya que, sí, se entiende la influencia de la deforestación en el proceso hidrológico y el mismo está claro, sin embargo, también proveen información clave que indica que los cambios en las cuencas no son significativos cuándo la deforestación se mayor a 50%, indicando que la ausencia de árboles por sí misma no es un factor determinante; a lo que sugieren cambio en el uso de estadísticas y escalas ya que una escala global da paso a posibles errores por diferencias de datos oficiales entre países, lo cual se disminuye al usar datos de cuencas pequeñas para un área específica (van Dijk et al., 2009).

Servicios Ecosistémicos Urbanos (SEU)

Para esta investigación también es pertinente abordar un estado del arte para el tema *servicios ecosistémicos urbanos (SEU)*, ya que estos al tener la variable *urbana* integrada van a tener percepciones diferentes con respecto a los servicios ecosistémicos que se entienden por “todos aquellos beneficios que la sociedad obtiene de los ecosistemas” (Corredor et al., 2012, pp. 78–79) Ahora bien para Inastroza et al (2020) el enfoque de SEU es relativamente nuevo y toma relevancia en procesos de planificación y gestión en espacios tanto ya consolidados

como urbanos como en espacios en proceso de expansión urbana. Independientemente de la clasificación de SE, siempre existe un debate abierto al concepto de SEU, por ejemplo, (Gómez-Baggethun & Barton, 2013; Langemeyer et al., 2015) se refieren a estos como una categoría más que se relaciona con las demandas y complejidades que caracterizan a las ciudades y que son diferentes a las propias de otros ecosistemas. A esto se le suma el dinamismo en la población, el cambio en el uso de la tierra y el hecho de que en las ciudades no existen más SE de un tipo que de otro, si no una alta demanda lo cual genera que la categoría sea más compleja (Inostroza et al., 2020),

A raíz de dicho crecimiento Gómez-Baggethun & Barton (2013) mencionan que a pesar de que las ciudades no estén en sintonía total con los ecosistemas la demanda por los mismos sigue en aumento a lo largo de los últimos años y clasifican los siguientes como los SEU: la regulación del flujo del agua y la mitigación de la escorrentía, en especial tras los eventos extremos, es decir, los desastres, el tratamiento de aguas residuales, la regulación climática de temperatura extrema y de ruido, y los aportes necesarios a la filtración de la contaminación atmosférica, entre otros. Entonces, “una de las mayores potencialidades de los SEU es su capacidad para apoyar la gestión integral del territorio, esto gracias a que aquellos se conciben como una integración de las ciencias sociales y las ciencias naturales” (Inostroza et al., 2020, p. 14)

Específicamente Perona (2017) cataloga los SE de los ríos urbanos como: *Elementos ecológicos: servicios de regulación y de apoyo*; y *Servicios de equipamiento: servicios culturales y los de abastecimiento*, esto con especial atención a la regulación del ciclo hidrológico, “ya que se trata de un servicio tangible con gran impacto global, donde las perturbaciones aumentan el impacto en relación con el abastecimiento o los efectos de las inundaciones, sobre las poblaciones vulnerables”. (p.76) y con el propósito de ofrecer una herramienta de planificación urbana que relacione los ecosistemas en áreas urbanas y sus servicios; los mecanismos para la gestión de los ríos urbanos se clasifican en una estrategia hidráulica y una ambiental que luego de una aplicación y evaluación de las mismas de forma cualitativa se concluye que la estrategia ambiental empleando diversas técnicas es una respuesta integradora que mantiene los SE, cumple con los estándares de seguridad (que propone la estrategia hidráulica) y se suma a los servicios culturales, la estrategia ambiental

propone entre otras, técnicas de restauración de márgenes, del hábitat fluvial, reconexión de cauces o recuperación del cauce natural y corredores verdes o parques fluviales (Perona, 2017).

Barbedo et al (2014) plantean una mejora de los SE para la mitigación de inundaciones basado en el modelado hidrológico que permite evaluar, cuantificar y visualizar el vínculo causal entre la intervención humana y los impactos que esta podría tener en las inundaciones, dicho estudio utiliza un modelo de este tipo para probar cambios hipotéticos en el uso del suelo en la ciudad costera brasileña de Paraty y discuten las posibles causas de la adopción de patrones de desarrollo urbano de mayor densidad y cómo al mismo tiempo se protegen los países de alto valor cultural y ambiental, los resultados de modelización muestran cómo se pueden mejorar los SE de regulación de inundaciones y en qué medida la restauración de las riberas naturales pueden reducir las inundaciones urbanas; esto específicamente en los ríos Pereque-Acu y Mateus Nune donde se visualizan los impactos distribuidos del cambio de uso de la tierra en el área urbana consolidada y cómo los beneficios que se tienen a raíz de las propuestas para mejorar los SE así como los beneficios que producen las medidas propuestas para mejorar los servicios de regulación de inundaciones.

Los autores señalan que sobre los SE es polémico en la literatura la dificultad para identificar la extensión de los mimos y que para mejorarlos se basan en hipótesis no comprobadas o bien información insuficiente lo que vuelve aún más complicado integrar los SE en el proceso de toma de decisiones, a diferencia de esto, mencionan que sus escenarios modelados “brindan servicios ecosistémicos cuantificables, que se pueden adaptar para examinar las compensaciones inherentes a las decisiones que realmente están siendo consideradas por las autoridades pertinentes” (Barbedo et al., 2014, p. 7) y respecto con los SE de regulación de inundaciones “constituyen servicios ecosistémicos intransferible y producen beneficios para muchos, pero lo hacen a través de una distribución geográficamente desigual. Esto significa que los recursos estratégicos para la mitigación de inundaciones son específicos de la ubicación y deben identificarse adecuadamente” (Barbedo et al., 2014, p. 7).

Sin embargo, para otros autores es evidente que actualmente existe más literatura que aborda el cambio climático y la evolución de la vulnerabilidad, pero poca de esta hace referencia a las ciudades, de la misma manera que no se aborda la importancia de los SEU; si existe literatura extensa sobre estos, su clasificación y valoración, pero, de igual manera poca se centra en la amortiguación hidrometeorológica, peligros y ciudades, entonces el motivo de su investigación es precisamente abordar esa brecha en componentes del ecosistema urbano que no realizan una síntesis interdisciplinaria orientada a las políticas para la reducción del riesgo de desastres (Depietri et *al.*, 2012).

“De todos los servicios de los ecosistemas, los servicios de regulación se encuentran entre los menos investigados y evaluados, y los indicadores de servicios de regulación son más débiles (es decir, baja capacidad para transmitir información y disponibilidad de datos) en general que los indicadores de servicios de aprovisionamiento” (Depietri et *al.*, 2012, p. 97). Su análisis se basa en la clasificación de los SE propuestos por la EM y se han identificado los servicios relevantes para cada peligro, para las inundaciones se analizó la regulación del agua y se determinó que las inundaciones que afectan las áreas urbanas pueden generarse localmente o en otros lugares de la cuenca y que las áreas urbanas generan impacto en ecosistemas de las cuencas hidrográficas debido a cambios en el uso de la tierra y el desarrollo de la infraestructura de manera tal que afecta los cursos de agua, por eso “cuando se trata de inundaciones, es importante considerar el papel de los ecosistemas no solo dentro de las propias áreas urbanas, sino también en todo el paisaje de la cuenca y las influencias que las áreas urbanas tienen sobre ellos. Estas dos escalas de análisis se consideran en esta sección con un enfoque en áreas urbanas” (Depietri et *al.*, 2012, p. 100).

A nivel nacional

En Costa Rica, Sánchez (2015) define dos periodos de cambio: el primero desde 1960 hasta 1986 donde se producen los cambios más significativos, a este lapso se le otorga la definición de “deforestación frontal” porque la cobertura forestal pasa de 59,5 % a 40,8 %. La pérdida total de bosque tiene el valor de 956.675 ha, siendo la tasa de deforestación de 36.800 ha/año. El segundo periodo lo llama “recuperación forestal” comienza en 1986 y termina en 2010. El valor de la cobertura pasó de 40,8 % a 51,4 %. Se mantiene estable la tasa de deforestación anual durante este periodo, por debajo de 0,25 % anual. Este logro es resultado de interacciones entre Gobiernos que implementaron políticas de conservación y los cambios en el modelo productivo del país; es decir, cambio en el sistema productivo nacional, las nuevas generaciones de empleo, el aumento en el nivel educativo, el crecimiento en las exportaciones, entre otros. Además de la nueva legislación como la ley 7575 y el programa de pago de servicios ambientales en los años noventa son acciones que han favorecido el incremento de la cobertura forestal desde mediados de los años ochenta para llegar a aumentar en la actualidad la cobertura forestal a un 51% (Sánchez, 2015).

En los estudios del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) (2012) y Morera & Sandoval (2018) para el año 2000 en Costa Rica se contabilizaron un total de 835.890 ha de cobertura forestal que representa un 44%, de esos 13,4% corresponden a bosque de alta densidad y un 30,5% a bosque de baja densidad. Mientras que durante los años 2009-2010 la cobertura forestal fue de 52.39% incluyendo todo tipo de coberturas, la recuperación de área boscosa más allá de seguir un patrón obedece en su mayoría al abandono de actividades agrícolas y ganaderas. La provincia de San José en el año 2005 tenía un porcentaje de cobertura forestal de 4.35% y en el año 2010 de 4.31%. Siguiendo con la línea de fragmentación/ deforestación, Hernández et al (2016) identificaron como una amenaza a la cobertura forestal el aumento del uso de la tierra bajo las categorías de urbano e infraestructura, del periodo 2011 al 2013, pues un 48% de áreas deforestadas se dio por esos motivos.

A pesar de que han existido esfuerzos gubernamentales e institucionales en Costa Rica de agendas ambientales de conservación, Herrera (2010) plantea que no logran alcanzar mínimos establecidos por la FAO en mejoras de la arborización urbana y en cantidad de áreas verdes disponibles. Por tanto, según el autor hasta que en la agenda de desarrollo no se

incluya el factor forestal se estará desaprovechando las posibilidades del esparcimiento, la interacción social, la belleza escénica y la conservación de la naturaleza a raíz de la gestión de los recursos naturales en zonas urbanas y periurbanas.

A nivel general, el Ministerio Nacional de Ambiente y Energía (MINAE) es el ente encargado de los temas ambientales y como se mencionó se ha logrado grandes avances gracias a fondos guiados por este, su visión específicamente es: “consolidarse como un sistema de gestión ambiental que le permita a Costa Rica posicionarse positivamente en materia de competitividad internacional (política, ambiental y comercial), y que fortalecido en su capacidad de gestión pública responda a los requerimientos de manejo, conservación y uso sostenible de los recursos ambientales y naturales, bajo el liderazgo del ministro Rector del Sector de Ambiente y Energía”(MINAE, s.f.). Esto a través de diversas leyes y asociaciones con sectores varios, un ejemplo reciente es el desarrollo de corredores urbanos a través de la Secretaría Técnica Nacional (SETENA) con el MOCUPP específicamente, en este caso en la microcuenca del río Torres con el fin de fortalecer la gestión territorial a partir de tres ejes estratégicos: la conservación y restauración, la comunicación y la educación y la gobernanza (Fernández, s.f.).

VII. MARCO CONCEPTUAL

En esta sección se presentan los conceptos que guían la base y son pertinentes para el desarrollo de la investigación.

Un concepto muy importante para desarrollar es el de los **Servicios Ecosistémicos (SE)**, Corredor *et al* (2012) los definen como “todos aquellos beneficios que la sociedad obtiene de los ecosistemas” (p.78-79). Existen tres distintos tipos de SE, primero los que se pueden consumir directamente, llamados servicios de suministro que incluyen los alimentos, agua, fuentes de energía, materiales de construcción y otros, segundo, los que pueden regular las condiciones en las que se habita y en las que se desarrolla la actividad económica que se denominan servicios de regulación e incluyen la regulación climática, *la regulación de inundaciones* y la protección costera y tercero se tienen servicios que pueden ser tangibles o no tangibles y se atribuyen más a las experiencias satisfactorias vividas por el ser humano, los mismos se denominan servicios culturales y se asocian a la identidad, el legado cultural y el sentido de pertenencia (Balvanera, 2012).

Bajo ese contexto, el tipo de SE que más se adapta a la presente investigación son **los de regulación**, estos son relevantes ya que sus beneficios tienen una alta demanda por parte de la sociedad, son de vital importancia y se obtienen directamente de los ecosistemas, no sufren cambios mediante procesos industriales o de mercadeo, además, el área de estudio es un hábitat que se rige bajo actividades productivas del ser humano. Dentro de esta categoría se trabajará con los de **control de inundaciones** que es uno de los SE de regulación que brindan los bosques y que tienen como función regular caudales para mitigar inundaciones, la recarga de acuíferos con caudal durante épocas secas, así como la purificación del agua y el control de la erosión (Balvanera, 2012; Corredor *et al.*, 2012).

Ahora, como el ambiente en el que se desarrolla la investigación es urbano, entonces es pertinente abarcar el concepto relacionado a **Servicios Ecosistémicos Urbanos (SEU)**, el cual es aún escaso y poco desarrollado como tal, se hace referencia a los SE y su aporte en la planificación urbana, aunque también es ambiguo al definir el ambiente urbano; además de relacionarse con el término de infraestructura verde y soluciones basada en la naturaleza

(Ahern et al., 2014; Alavipanah et al., 2017). Entonces, definimos servicios ecosistémicos urbanos como aquellos servicios que son directamente producidos por estructuras ecológicas dentro de áreas urbanas o regiones periurbanas (Luederitz et al., 2015). Además, se encuentran 2 posibles interpretaciones, la primera es que se refieren a los SE que se producen a partir de espacios naturales o seminaturales los cuales se encuentran dentro de los límites urbanos y la segunda, como servicios que se encuentran o pertenecen a las ciudades como ecosistemas urbanos; entonces, para Tan et al (2020a, p. 3) la definición sería: “servicios de los ecosistemas como se utilizan convencionalmente y que se producen a partir de espacios naturales o seminaturales dentro de los límites urbanos” (p.3). Además, menciona que para entender la total dimensión del concepto es necesario entender las tendencias en el uso del término (Tan et al., 2020b).

También son de interés conceptos como cobertura y fragmentación boscosas. La **cobertura boscosa**, o por su término en inglés “forest cover”, hace referencia a una categoría de cobertura del suelo, las diversas categorías se definen según características de predominancia tanto naturales como artificiales que ocupan el suelo y que pueden diferir acorde a la locación y el estudio (Hansen et al., 2010). En este caso, el uso predominante sería el ecosistema bosque, que “se entiende por los espacios naturales que presentan elementos arbóreos en un área entre 30% y 100% de la cobertura vegetal” (Ojeda et al., 2000a, p. 281) además, se caracteriza por tener varios estratos que van desde un tapete de plantas con especies restringidas en la parte inferior, plantas de bajo porte o herbáceas que sería el sotobosque hasta la bóveda o dosel que lo conforman las copas de los árboles con altura considerable (Ojeda et al., 2000b). Mientras que la **fragmentación** de un ecosistema es un proceso dinámico que resulta en cambios evidentes en el patrón del hábitat en un paisaje a través del tiempo y este término por lo general se usa para describir los cambios que ocurren en un hábitat natural cuando este es removido de manera incompleta creando varios bloques pequeños de vegetación original que terminan separados unos de otros; además, esta se da producto de alteraciones tanto antrópicas como por procesos naturales, los daños provocados en las relaciones ecológicas pueden ser reversibles y recuperarse o irreversibles y desaparecer para dar paso a una evolución diferente (Bennett, 2003; Irastorza Vaca, 2006)

Asociado a lo anterior, cabe diferenciar los términos de **uso del suelo** y **uso de la tierra** asociados a coberturas. En cuanto al primero una cobertura del suelo hace referencia al estado natural de la superficie o las características del terreno, mientras que para el segundo se toma en cuenta la forma en que la sociedad utiliza la cobertura a través de actividades económicas, por lo tanto, el cambio en el uso de la tierra significa los cambios en el manejo de esta y el cambio en la cobertura / uso del suelo es la transformación física de un determinado paisaje. En concreto, el uso del suelo es lo que se encuentra sobre el terreno en un momento específico y el uso de la tierra es la manera y los propósitos en los que se utiliza el terreno (Montero & Viales, 2015)

Por otro lado, en cuanto a las **inundaciones**, el proceso que las origina inicia desde algo muy básico como lo es el ciclo hidrológico iniciando con la caída de lluvia o bien precipitación proveniente del vapor de las nubes en forma de partículas líquidas de agua, la cual al caer se evapora (se convierte de estado líquido a gaseoso) o sufre de intercepción cayendo sobre las superficies vegetales, aquí también alguna parte se evapora o se escurre hasta el suelo y se infiltra. Por otro lado, el agua que cae directamente al suelo puede caer sobre ríos, lagos y otros, o correr sobre la superficie originando la escorrentía superficial que es la lluvia que no se infiltra al caer y que fluye por las laderas o bien puede ser absorbida por las raíces de las plantas por el proceso de transpiración vegetal; en cualquier parte del proceso el agua siempre vuelve a la atmósfera en forma gaseosa (Rascón, 2005).

Una inundación propiamente se define como la invasión temporal de agua bajo el efecto de un río, lago u otros en zonas que bajo condiciones normales se mantienen secas, sin embargo, se debe hacer referencia a la alteración de cuencas o microcuencas hidrográficas que se produce por la deforestación, corte de árboles o bosques, dejando al suelo sin cobertura vegetal produciendo baja retención e infiltración de lluvia que genera escorrentía con potencial de convertirse en inundación ya sea lenta o repentina (Balvanera, 2012; Monge et al., 1995).

A raíz de lo anterior, se evidencia que los procesos de infiltración, intercepción y evaporación cambian con la cobertura vegetal, es decir que “los bosques desempeñan importantes funciones de amortiguación, como el enfriamiento, la intercepción de la lluvia y la infiltración y la retención del agua. Por consiguiente, pueden mitigar los fenómenos

meteorológicos extremos y reducir los efectos del cambio climático en los recursos hídricos” (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO), 2021).

Además, según Calder (1998) basado en consideraciones teóricas, “esperaría que la interceptación de la lluvia por los bosques reduzca las inundaciones al eliminar una proporción de la lluvia tormentosa y al permitir la acumulación de déficit de humedad del suelo. Se espera que estos efectos sean más significativos para las tormentas pequeñas y menos significativos para las tormentas más grandes” (p.8).

Asociado al cambio de la cobertura, específicamente relacionado con el aumento de la cobertura urbana, hablar de la expansión representa un reto ya que en la actualidad no se tienen definiciones claras para su determinación y se cae en la frontera urbano-rural, según Bazant (2010, p. 483) la frontera “es una línea imaginaria que solo existe en teoría en los planes urbanos oficiales”. Menciona también que el origen de las periferias urbanas es un fenómeno social que se origina en el contorno de cualquier ciudad además de ser una dinámica cambiante entre las periferias como hacia la densificación de los asentamientos, volviendo difícil establecer límites claros entre lo urbano y lo rural (Bazant, 2010).

El **crecimiento urbano** de las ciudades tiene que ver principalmente con dos factores: el crecimiento de la población y el crecimiento del ingreso de esa población. El primero se refiere a un cambio físico, una proporción, haciendo que conforme crezca la población, la ciudad también irá creciendo porque se dan mayores demandas de espacio, empleo y actividades recreativas; mientras que, en el segundo se dice que, si aumenta el ingreso de la población, aumentará la demanda para mejorar las viviendas y los servicios comerciales y recreativos (2006). Por otro lado, para López (1979) el crecimiento de las ciudades tiene que ver con cinco factores básicos: carácter demográfico, crecimiento socioeconómico, naturaleza tributaria, preferencia de los usuarios y falta de políticas espaciales para la agricultura.

Esta categorización va a depender de cada país. Para el caso de esta investigación, se va a trabajar con la definición por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (2016) que es el ente encargado de esa materia para Costa Rica. Este instituto define urbano como: “áreas que se delimitaron a “priori” para el Censo Nacional de Población del 2011, con

criterio físico y funcional, tomando en cuenta elementos tales como: cuadrantes claramente definidos, calles, aceras, servicios urbanos (recolección de basura, alumbrado público) y actividades económicas como: industria, grandes comercios y servicios diversos y otros conglomerados de viviendas ubicados fuera de ese compacto (barrios, condominios y otros asentamientos), que poseen características como las descritas para las zonas urbanas” (p.13-14).

Hablar del crecimiento y la planificación de ciudades también implica hablar de **ordenamiento territorial (OT)**, cuyo concepto ha ido evolucionando e implementando nuevas metodologías a través del tiempo, desde cambios en los esquemas de regulación que cualifican y cuantifican el alcance de los planes, cambios en las escalas, así como mejoramientos en la participación de otros sectores además del Estado. Montes Lira (2001, p. 12) lo define como “organización de las actividades humanas sobre el territorio. Se vincula y adquiere en algunos casos una connotación ambiental. Esto debido a un enfoque conceptual y metodológico que se centra en una adaptación a un contexto geográfico y cultural particular.”

Existen diferentes tipos de ordenamiento territorial y adecuaciones de sus metodologías acorde al país de ejecución. Para el caso de Costa Rica, el en la Política Nacional vigente de Ordenamiento Territorial se define como: “El ordenamiento territorial es la expresión espacial de las políticas sociales, ambientales y económicas. Es también un ejercicio administrativo y una política de Estado, basada en la toma de decisiones coordinadas y articuladas, con el fin de garantizar un desarrollo adecuado de los asentamientos humanos, la gestión integral de los recursos naturales y el desarrollo económico en el territorio” (Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos, 2012, p. 11).

Una manera de englobar todo lo anteriormente mencionado es bajo la gestión del riesgo y para exponer su concepto es necesario primero entender la definición de **desastre** ya que el contexto en el que surge la gestión del riesgo es como opción integral de intervención ante un desastre, el mismo “es finalmente la concreción de un riesgo, una realización de determinados niveles de riesgo en la sociedad, en que el evento físico sirve de detonador, pero no es la causa única que le da origen” (Lavell, 2003, p. 14)

Entonces, desde la década de los noventa la temática del riesgo e intervenciones de desastres se elevó a un mayor estatus y se involucra de mayor manera en los niveles locales surgiendo consideraciones entre la relación existente entre la degradación ambiental y las condiciones de riesgo de desastre, así con el paso del tiempo y el mayor desarrollo conceptual entorno al riesgo, prevención y mitigación de desastres pasaron a ser tomados en cuenta más estructuralmente (Lavell, 2003). Ahora, también se debe exponer qué se entiende por riesgo de desastre siendo “la probabilidad de daños y pérdidas futuras asociadas con el impacto de un evento físico externo sobre una sociedad vulnerable, donde la magnitud y extensión de estos son tales que exceden la capacidad de la sociedad afectada para recibir el impacto y sus efectos y recuperarse autónomamente de ellos”(Lavell, 2003, p. 17)

Finalmente, la definición básica de **gestión del riesgo** supone que es un “proceso social complejo cuyo fin último es la reducción o la previsión y control permanente del riesgo de desastre en la sociedad, en consonancia con, e integrada al logro de pautas de desarrollo humano, económico, ambiental y territorial, sostenibles.” (Lavell, 2003, p. 26) y la misma aplicada a ambientes urbanos locales ya que la misma surge como una opción integral de intervención para los desastres asociados con pérdidas y daños humanos ya que en los últimos años se ha dado un aumento de los mismos y se atribuye al aumento de población, infraestructura y producción que se ubica en zonas vulnerables, actualmente se cuenta con un mayor conocimiento de los desastres y sus relaciones con las prácticas humanas inadecuadas dónde el desarrollo de las mismas puede explicar la vulnerabilidad, más allá de solo un impacto negativo producto del desastre (Lavell, 2003).

La gestión del riesgo se construye a partir de las relaciones entre desarrollo y riesgo, entendiendo este último como la probabilidad de daños y pérdidas asociadas con el evento físico y es un proceso que comprende cuatro fases de mayor importancia, inicialmente una dimensión objetiva del riesgo y entendimiento de los procesos y actores sociales que contribuyen a su concepción, seguido de una valoración del riesgo en el contexto, la postulación de políticas públicas y estrategias de intervención en la toma de decisiones para finalmente la fase de implementación de las estrategias (Lavell, 2003).

A nivel nacional

El ordenamiento territorial en Costa Rica “se promueve por medio de la regulación y promoción de asentamientos humanos y actividades económicas y sociales de la población, así como el desarrollo físico-espacial, con el fin de lograr la armonía entre el mayor bienestar de la población, el aprovechamiento de los recursos naturales y la conservación del ambiente” (PLANOT, 2013)

Lo anterior se plantea mediante 4 grandes ejes: localización óptima de diversas actividades productivas y de vivienda, la orientación del uso sostenible de los elementos del ambiente, el desarrollo sostenible equilibrado de las diferentes zonas del país y la promoción de la participación de los habitantes y la sociedad organizada en la elaboración y aplicación de los planes de ordenamiento territorial (PLANOT, 2013). Haciendo que el marco normativo sea muy diverso y sea necesario la intervención de diferentes instituciones y por ende distintas visiones de planificación.

La aplicación de técnicas de OT en el país se remonta a la implementación de la división político-administrativa, pasando por diversas leyes, como la Ley de Planificación Urbana, Ley de Uso, Manejo y Conservación del Suelo, los códigos municipales, entre otros hasta llegar más recientemente en el año 2012 y con proyección hasta el año 2040 con la Política Nacional de Ordenamiento Territorial (PNOT) que “es un instrumento de planificación estratégica para el direccionamiento, a largo plazo, de las acciones del Estado, a través de los diferentes Planes Nacionales de Desarrollo (PND), cuya finalidad es alcanzar una serie de objetivos identificados como comunes y que constituyen un proyecto país” (PNOT) y tiene los siguientes ejes transversales: gestión del riesgo y cambio climático, enfoque de género y de derechos y estructurales: calidad de hábitat, protección y manejo ambiental y competitividad territorial (PNOT, 2013)

Haciendo referencia a una escala más fina, a nivel de municipio o cantón por ejemplo como parte de la Ley de planificación Urbana debe existir un Plan Regulador Cantonal con el propósito de promover de manera ordenada el crecimiento de los centros urbanos y el equilibrio entre estos y las zonas rurales de manera que se brinde un desarrollo urbano eficiente.

Para que el estado haga uso de esta herramienta se tienen instrumentos, los cuales pueden ser: Planes de Desarrollo Territorial, Planes Reguladores, Planes regionales, entre otros y en el caso de Costa Rica las instituciones encargadas de velar por el cumplimiento son: Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH), Instituto Nacional de Vivienda (INVU), Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE) , Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y Comisión Nacional de Emergencias (CNE).

VIII. METODOLOGÍA

El área de estudio que comprende los distritos de San Juan de Dios y San Rafael Arriba de Desamparados fue seleccionada ya que cumplía con las variables de interés a analizar, en primer lugar: ambos distritos se clasifican como urbanos (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2016), en segundo lugar, son los distritos con mayor cantidad de inundaciones registradas en Desinventar (31 eventos en San Juan de Dios, 15 eventos en San Rafael Arriba) y en tercer lugar se presentan procesos de fragmentación boscosa desde el año 2000 (Morera & Sandoval, 2018). Esta última variable también fue explorada previamente con información satelital a partir de productos derivados de imágenes Landsat Hansen (2013). Así mismo, se selecciona el período de estudio 2000-2018 de manera que coincida con los censos de población y 2011 lo cual permite obtener cambios cuantitativos en la población y la cobertura urbana (INEC, 2000).

Las fuentes de datos utilizadas son: datos del Proyecto Global Forest Change que es un producto derivado de imágenes satelitales Landsat, específicamente el compendio de la versión 1.6 que abarca el período 2000-2018 con una resolución de 30m, comprendidos en dos archivos: uno de cobertura por porcentaje para el año 2000 y otro de pérdidas en el período 2001-2018 (nombrados de ahora en adelante “cobertura2000” y “pérdidas” respectivamente) (Hansen et al., 2010), ortofotos de los años 2005 y 2017 (SNIT), Fotografías aéreas del Proyecto Carta para los años 2003 y 2005, y fotografías aéreas Terra del año 1998. Por último, datos cartográficos del Instituto Geográfico Nacional que representan la División Territorial Administrativa como vías y ríos.

Cambios espacio temporales en la cobertura de la tierra

a. Tratamiento de datos de pérdida de cobertura boscosa

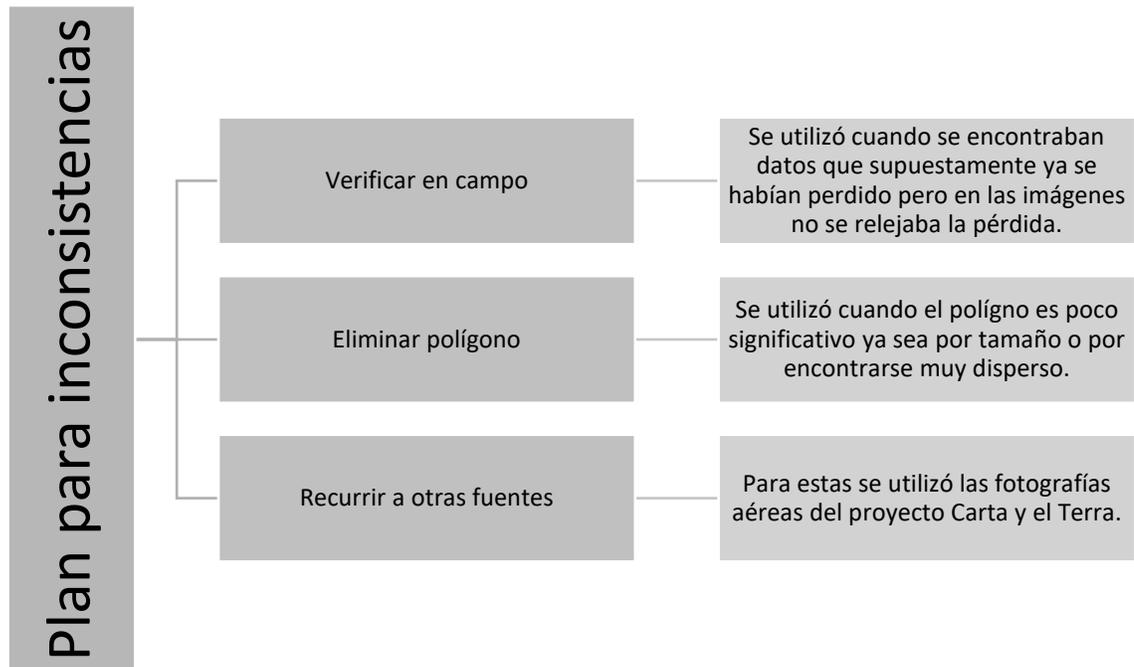
Se realiza el procesamiento de datos por medio de análisis y control de calidad por medio del software QGIS versión 3.16.8 Hannover lanzada el 17/ 05/2020 de la siguiente manera: el archivo viene clasificado por años, es decir los polígonos con un “1” representan las pérdidas de cobertura boscosa el año 2001, los que tengan un “2” las pérdidas del año 2002 y así sucesivamente hasta el año 2018; se extrajeron los valores de 0 ya que esos no representan nada y para obtener la delimitación del área de estudio se le aplicó un cortado de máscara

poniendo de base los distritos de estudio los cuales anteriormente se habían filtrado de la capa administrativa de distritos. Una vez delimitado el archivo de “pérdidas” se re proyectó de coordenadas geográficas (WGS84) a planas (CRTM05) para proceder con la vectorización que es un proceso que permite un mejor manejo de la información espacial, sin embargo, puede implicar alguna pérdida de datos por lo que también se verificó que no se dieran esas pérdidas; posteriormente se recodificó el archivo para que tuviera en los campos de la tabla de atributos corresponda con el año de pérdida como tal (2001, etc.) y no un número (1,etc); esto se realizó mediante la creación de un nuevo campo en la tabla de atributos al que se le dió por medio de un código llamado “CASE” que los datos que tuvieran un “1” los nombrara como “2001” y así sucesivamente hasta el año 2018.

Una vez listo para trabajar se inició con la digitalización lo que implica un “ojo investigativo” para la búsqueda de puntos de interés y puntos de conflicto, y verificar si realmente los datos concuerdan de manera que se pueda obtener la delimitación de los polígonos de una manera más real, esto porque inicialmente el archivo ráster tiene polígonos sumamente cuadrados y discordantes con la realidad. Para obtener un apoyo en dicha delimitación los polígonos se suavizan con la herramienta automática GRASS de QGis, sin embargo, aún le falta el ojo clínico por lo que aquí se inicia con el análisis guiado por las ortofotos y las fotografías aéreas, estas previamente se georreferenciaron y se combinaron bandas para obtener el color verdadero.

El análisis se realizó de la siguiente manera: si tengo un polígono de pérdida del año 2004, verifico que en la imagen del 2003 aún exista y que para la imagen del 2005 ya se haya perdido, en general las pérdidas menores al año 2005 en la imagen / ortofoto de este año ya no deberían aparecer y posterior a este año se corrobora con la ortofoto del año 2017, sin embargo, se encontraron varias inconsistencias de este tipo para las cuales se creó un plan piloto que se muestra en la figura 1 con tres opciones a ejecutar:

Figura 1. Plan para inconsistencias



Fuente: Elaboración propia.

Para la realización del trabajo de campo se identificaron los puntos en mapa y se realizó un recorrido por los mismos en vehículo propio (un día para el distrito de San Juan de Dios y otro día para el distrito de San Rafael Arriba) obteniendo observaciones que digan qué hay actualmente, ¿se ha mantenido la pérdida? ¿coincide con lo que tengo? ¿si se identifica como pérdida por qué no se perdió? ¿fue acaso una recuperación? y documentando por escrito y en fotografías que en general sea posible obtener una orientación de la configuración de los usos del suelo presentes y que de indicios de cómo se llegaron a ella abarcando esto el control de calidad para la vectorización de los datos.

Una vez realizado el trabajo de campo y con una visión más amplia del área, el paso siguiente es darles a los polígonos la forma más real y delimitada, para lo cual también se utilizaron las imágenes y las ortofotos porque brindan una idea de por donde guiar el límite del polígono, si hay que moverlo, rotarlo, etc. Lo que también se enmarca bajo el control de calidad. En el área de estudio había varios polígonos dispersos individualmente, de estos algunos eran inconsistencias o simplemente no aportaban al grueso del trabajo, es decir no es lo mismo tener un conglomerado grande que es más significativo para la investigación a

un polígono con un área poco significativa por lo que se eliminaron. Los demás polígonos se delimitaron manualmente por medio de herramientas de digitalización avanzada y auto ensamblado, cortado y combinación de polígonos.

Como paso final los polígonos que requerían una mejor delimitación se les aplicó de manera automática por medio de la herramienta de suavizado y a toda la capa se le verificaron las topologías para que no tuvieran saltos, superposiciones y geometrías no válidas, si resultaba alguno de esos errores para algún polígono se ajustaban las geometrías individualmente con la herramienta de ese nombre o bien de manera manual.

b. Tratamiento de datos de cobertura boscosa

Esta fuente de datos también es parte del paquete obtenido del Proyecto Global Forest Change, específicamente el archivo de “cobertura2000” que abarca la cobertura boscosa por porcentaje para el año 2000, el mismo se trabajó también en el software QGis, se obtiene también en formato ráster, se le aplica el cortado por capa de mascara para obtenerlo en el área de estudio, se le corrige la geometría para poder reproyectarlo y posteriormente se vectoriza y se verifica que no hubiera pérdidas de datos. La clasificación de este archivo corresponde a % de 0-100 por píxel, es decir si un polígono tiene un porcentaje de 88 quiere decir que del píxel del 30x30 que serían 900m², 88% de ese terreno equivalía a cobertura para el año 2000. El control de calidad para la delimitación de esta capa se realizó con imágenes Terra del año 1998 y Carta del 2003. Antes de iniciar la delimitación se realizaron pasos previos: primero se le aplicó un filtrado para obtener los datos con % mayor a 70, esto porque de igual manera que en el caso anterior es más significativo un grupo mayor de datos a datos esparcidos pequeños; y que, en este caso como la variable es cobertura boscosa un % menor a 70 se identificó por medio de las imágenes que ya era muy poca la cobertura.

Segundo: se aplicó una categorización / agrupación para visualizar los datos de mejor manera, esto también incluyo una recodificación en los campos de la tabla de atributos para unificar los grupos acorde al porcentaje, se crearon 4 grupos que se explican en la tabla 1:

Tabla 1. Recodificación para la capa de cobertura

Categoría (Identificador)	Porcentaje para agrupar	Simbología	Observaciones
1	70-80		La capa tenía muchos polígonos dispersos con inconsistencias, por ejemplo, un polígono con 70% de cobertura debería verse poca cobertura o escasa, pero en ocasiones no se veía así, se reflejaba mayor cobertura o bien otros casos que no son de interés al estar muy aislados, entonces de esa manera se decidió combinar los polígonos en grupos que tengan mayor representación.
2	80-85		
3	85-90		
4	90-100		

Fuente: Elaboración propia

Es decir, en la categoría 1 se reclasifica para que solo obtenga porcentajes entre 70-80 y así con las otras, las categorías se definieron con base en el análisis de los polígonos y las fotos para crear una mejor representación que agrupe zonas de interés de mayor cobertura. Posteriormente se realiza la digitalización de manera manual también con las herramientas de digitalización avanzada y auto ensamblado y el paso final para los polígonos que requerían una mejor delimitación con la herramienta automática de suavizado, al igual que en la capa anterior a toda la capa se le verificaron las topologías para que no tuvieran saltos, superposiciones y geometrías no válidas, si resultaba alguno de esos errores para algún polígono se ajustaban las geometrías individualmente con la herramienta de ese nombre o bien de manera manual.

c. Tratamiento de datos de cobertura urbana

En este caso, se trabaja con datos cartográficos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) que representan la División Territorial Administrativa, las edificaciones, las vías y los ríos. Específicamente se obtuvieron las capas correspondientes a “Edificaciones” para los años 2005 y 2017, se cargaron en un área de trabajo en QGis por medio de servicios WFS que los genera en formato vectorial y se hace posible la edición, estas de igual manera se encuentran a una escala mayor por lo que se les aplicó un cortado de máscara con base los distritos de estudio. Una vez cortados por delimitación de área se verificaron algunos detalles de geometría y proyección para corroborar que estén bien y se procede únicamente con la representación gráfica en un mapa.

Relación entre cambios en la cobertura de la tierra y la incidencia en inundaciones

a. Zona de estudio

En esta sección se presentan 2 figuras, primero la configuración de la red de alcantarillado, la cual fue proporcionada por la Municipalidad de Desamparados, específicamente el Departamento de Planificación territorial, los demás datos (vías distritos y ríos) se tenían previamente del IGN, una vez visualizados todos por medio del software QGis se realiza el diseño y representación gráfica de la figura como tal.

Segundo la red hídrica se realiza de manera automática con Qgis por medio de la herramienta “calculadora ráster”. Previamente se debe realizar la cuenca (se explica en la siguiente sección) en la que se genera un ráster de acumulación, ese se utiliza en la calculadora para especificar la salida de la red hídrica que depende de la densidad deseada, se indicó que la acumulación sea mayor a 50 y 75 que son los valores que generan mayor densidad y por lo tanto mayor aporte al caudal principal.

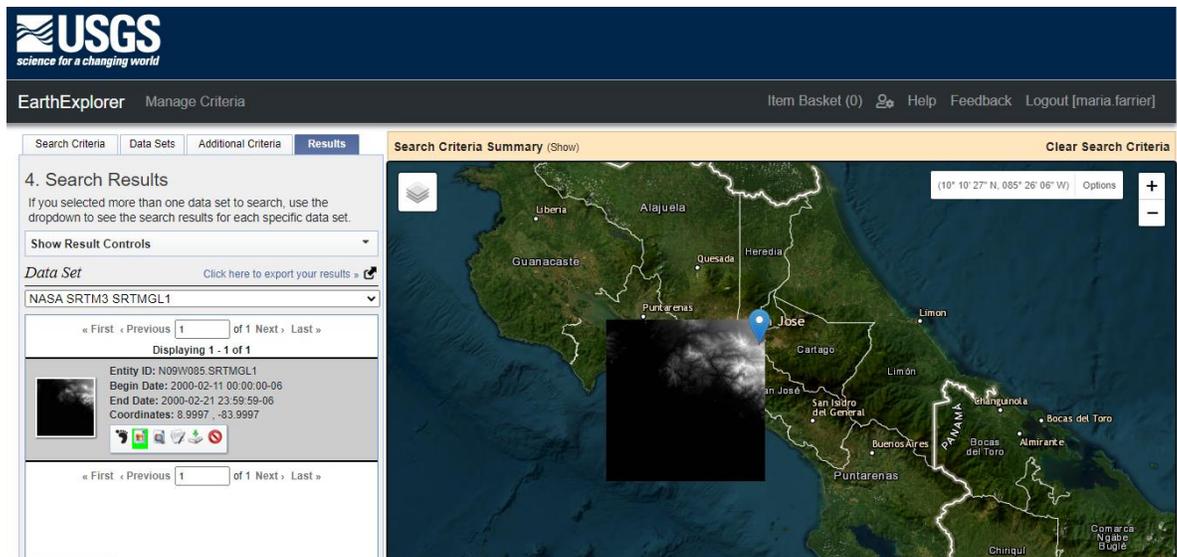
b. Uso software InVEST

“InVEST (Valoración integrada de servicios ecosistémicos y compensaciones) es un conjunto de modelos que se utilizan para mapear y valorar los bienes y servicios de la naturaleza que sustentan y satisfacen la vida humana” (Natural Capital Project, s.f). Específicamente el de Urban Flood Risk Mitigation tiene relación con inundaciones de agua

pluviales y la escorrentía que se genera ya que calcula la reducción de la escorrentía, es decir, la cantidad de escorrentía retenida por píxel en comparación con el volumen de la tormenta (Natural Capital Project, s.f.). Para su ejecución son necesarios datos de entrada los cuales se obtuvieron de la siguiente manera:

- ❖ Cuenca o área de interés: Polígono en formato vectorial en la cual se agrega y resumen los resultados finales. La figura final producida se obtuvo de manera automática a partir de un Modelo de Elevación Digital obtenido del Earth Explorer, USGS, NASA, como se muestra en la imagen 1:

Imagen 1. Sitio web de la NASA donde se obtuvo el DEM

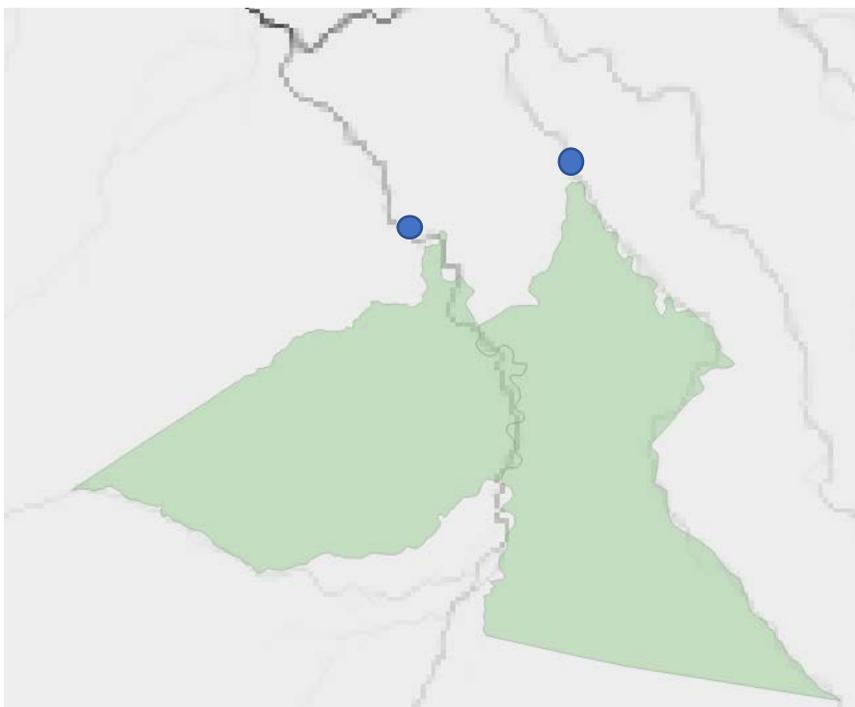


Fuente: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Dicho DEM se recortó solo para la zona de estudio y se corrige para que no tenga depresiones y valores extremos, esto por medio de las herramientas de GRASS en QGIS y luego poder continuar con la generación de la cuenca de manera automática; primero se generan ráster de acumulación y dirección, el primero indica los posibles cauces existentes en la cuenca en donde posteriormente se debe situar el punto de salida a partir del cual se va a generar la cuenca.

En este caso debido a que el área de estudio es muy regional se elaboró una cuenca en conjunto que abarque la zona de estudio y los ríos presentes en ella (río Cañas, río Jorco y río Poás), para eso se generó 2 cuencas en formato ráster, una para el río Jorco y otra para el río Poás, posteriormente se vectorizaron y unificaron en un solo archivo; esto implicó la selección de 2 puntos de salida para cada cuenca como se muestra en la figura 2, los mismos deben seleccionarse donde el valor sea mayor, específicamente en los colores grises más oscuros ya que eso indica una mayor acumulación para que la automatización de la cuenca sea más acertada.

Figura 2. Selección de los puntos para la generación de la cuenca



Fuente: Entorno de trabajo Qgis

- ❖ Profundidad de la lluvia: El modelo necesita un dato numérico de diseño de la tormenta pluvial el cual se elige a criterio del usuario según lo que se requiera presentar, es decir, como el modelo basa la producción de escorrentía en comparación por la lluvia total existe una relación proporcional, de ahí que, si se desea un resultado mensual, anual o en otros formatos el número que representa la tormenta debe ser acorde a dicha cantidad de tiempo. En este caso dado que las inundaciones para la

zona de estudio en su mayoría tienen recurrencia mensual se eligió un número de precipitación total mensual para el resultado principal y para los resultados anuales se eligió el total para cada año. Estos datos fueron brindados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) de las estaciones meteorológicas ubicadas en San Rafael Arriba y en Cerro Burío Aserri, los datos fueron proporcionados en formato horario, mensual y anual.

- ❖ Cobertura del uso de la tierra: Los datos utilizados del IGN fueron tres capas: “árboles”, “cultivos” y “edificaciones 2017”, todas en formato vectorial se cortaron para el área de estudio y se unieron en un solo archivo con herramientas de geo proceso vectorial en QGIS; una vez se obtuvo un único archivo se clasificó cada categoría de uso con un número entero acorde al uso de suelo presente, esto con base en la bibliografía recomendada en la cual se encuentran 3 tipos presentes en la cuenca: 1. Urbano y edificaciones, 2. cultivos y 3. bosque con cobertura parcial, para las cuales los códigos enteros serían: 13, 11 y 6 (Natural Capital Project, s.f.). Por último, se procede a rasterizar el archivo en el cual deben verse reflejados dichos valores en sus bandas, en la ventana de rasterizar se digitan los valores.
- ❖ Tabla biofísica: Se elabora por medio del número de curva (CN), este modelo específico calcula la escorrentía directa a través de un número hidrológico o de curva que es un número entre 0-100 según su capacidad de generar escorrentía superficial donde valores cercanos a 0 representan condiciones de permeabilidad muy alta y valores cercanos a 100 representan condiciones de impermeabilidad, esto depende del tipo del suelo y del uso de la tierra (Natural Capital Project, 2012; Villegas, 2017). En palabras simples la relación directa entre lluvia y escorrentía depende del CN las cuales el modelo usa específicamente para predecir la escorrentía por cada parcela de cobertura, como se explica a continuación el grupo hidrológico del suelo presente es ultisol entonces para obtener los CN se buscó en la bibliografía recomendada (los datos vienen en tablas cruzadas) para cada categoría de la siguiente manera: la categoría de cultivos, sub categoría de cultivos en fila en condiciones de suelos correspondientes a ultisoles tiene un CN_A de 72 y así sucesivamente para las categorías restantes (United States Department of Agriculture, 2004).

- ❖ Grupo hidrológico del suelo, “El grupo hidrológico del suelo describe el potencial de escorrentía en diferentes tipos del suelo. Hay 4 grupos. A, B, C, D dónde A tiene el menor potencial de escorrentía y D tiene el mayor. Para el uso del modelo estos valores deben traducirse a valores numéricos (1, 2, 3, 4)” (Natural Capital Project, s.f.). En el estudio de Amador et al (2018) donde su resultado fue el Excel de calicatas justamente hay una en el distrito de San Rafael Arriba, luego de comparar los parámetros de clasificación de suelos tanto para los datos obtenidos como con la información de la bibliografía recomendada (United States of Agriculture, 2007) se elige que la zona de estudio será categoría D o 4 ya que: por lo general tiene más de 40% de arcilla y menos del 50% de arenas.

c. Gráficos

Los gráficos presentes se realizaron por medio de Excel, primeramente, se organizan los datos y se digitan de manera que la variable que se ubica en el eje Y quede en la primera fila y la variable que se ubica en el eje X en la segunda fila, esto porque de esta manera el programa interpreta que el resultado debe ser X en función de Y, o bien se seleccionó la clase de grafico para únicamente representar la variable ya sea de barras o de líneas.

Zonificación como herramienta de ordenamiento territorial para reducir efectos de inundaciones

Los sitios de riesgo obtenidos en la figura final mostrada en el capítulo 3 se obtuvieron a partir de 2 datos bases: primero el resultado de escorrentía del capítulo 2 y segundo la zonificación existente para el territorio de Desamparados. El dato de escorrentía indica precisamente que en la zona categorizada como urbano se produce la mayor cantidad de esta, sin embargo, existen sitios más vulnerables que otros como lo es los alrededores del rio cañas y el dato de la zonificación brinda una realidad más exacta de la configuración actual de los usos, lo que permite contrarrestar o bien complementar con información nueva como fue en este caso; los polígonos delimitan barrios en sitios de riesgo y se realizaron manualmente con herramientas de delimitación en QGis.

IX. CAPÍTULO 1: CAMBIOS ESPACIO-TEMPORALES EN EL USO DE LA TIERRA

El presente capítulo abordará el análisis en los cambios espacio-temporales en los distritos San Juan de Dios y San Rafael Arriba del cantón de Desamparados a partir de dos líneas de orientación, primero la definición del concepto *uso de la tierra* que es el que ostenta la base del análisis y segundo una exposición de antecedentes literarios tanto a nivel de la GAM como del área de estudio, esto porque existe mayor literatura a esa escala más amplia, lo cual también es válido porque los distritos de estudio se encuentra bajo dicha zona de influencia para posteriormente exponer los resultados obtenidos con su respectiva observación.

Cambio en el uso de la tierra: concepto y aproximaciones.

Para iniciar cabe diferenciar los términos de uso del suelo y uso de la tierra asociados a coberturas. En cuanto al primero una cobertura del suelo hace referencia al estado natural de la superficie o las características del terreno, mientras que para el segundo se toma en cuenta la forma en que la sociedad utiliza la cobertura a través de actividades económicas, por lo tanto, el cambio en el uso de la tierra significa los cambios en el manejo de esta y el cambio en la cobertura / uso del suelo es la transformación física de un determinado paisaje; en concreto, el uso del suelo es lo que se encuentra sobre el terreno en un momento específico y el uso de la tierra es la manera y los propósitos en los que se utiliza el terreno (Montero & Viales, 2015).

Sin embargo existen aún similitud y confusión entre los conceptos o bien, adaptaciones que dependen del idioma con el que se está trabajando, por ejemplo Velázquez et al (2004) hacen referencia al cambio del uso del suelo como “el resultado de la actividad del hombre sobre la cubierta del suelo asociado a patrones culturales” (p.1). Dicho concepto se acuñó a finales del siglo XIX en el ámbito de las ciencias sociales y que tras el inicio del uso de las fotografías aéreas se emplea el término “cubierta” que fue dominante en Geografía, además de que en esta y en otras ciencias sociales se utiliza el término “tierra” como cobertura de la tierra ya que es una adaptación del término en inglés “land use” y que es entendido como un conjunto de acciones humanas que realizan un manejo dependiendo del contexto cultural de diversos grupos sociales; existen dos tipos de manejos: el manejador de la tierra y el gestor de la tierra,

el primero realiza prácticas de manejo que con el tiempo se convierten en tradiciones mientras que el segundo norma por cuerdos, reglas y leyes lo que deriva entonces en conflictos sobre el uso de la tierra cuándo alguno de los actores no sigue el consenso; lo que dirige el análisis de cambios en el uso de la tierra a una visión en la que se genera una pérdida en el balance existente entre intereses sociales de actores que implementan el manejo y la legislación (Velázquez et *al.*, 2004).

Los cambios que se generan en el uso de la tierra según Brinkam (2001) son generalmente consientes ya que se generan como respuesta de los seres humanos a los cambios en las condiciones biofísicas de la sociedad, es también un cambio en el tiempo de la distribución de los usos de la tierra dentro de un país y se mide como una proporción del cambio de un uso dado de la tierra por unidad de tiempo; y en relación con la problemática en estudio, esos cambios no se encuentran exentos de constituir una presión en el estado del ambiente. Este se cataloga también “como un indicador de respuesta que refleja cómo y en qué medida la sociedad responde a esos cambios o como se adapta a las condiciones ambientales cambiantes” (Brinkam, 2001, parr. 5).

Algunos ejemplos asociados a cambios en el uso de la tierra como actividad que se lleva a cabo en un terreno y que deriva en el cambio de la forma en la que se emplea la tierra son: limpiar los bosques para convertirlos en campos agrícolas tanto de producción vegetal como animal, la conversión de pastizal de bosque y más recientemente el desarrollo industrial y urbano (Burke et *al.*, 2012; Grupo Consultivo de Expertos (GCE), s.f.).

Cambios en la cobertura, expansión urbana y transformaciones afines.

Una de las variables pertinentes en esta investigación es la pérdida de cobertura boscosa, sin embargo, cabe aclarar que no se trabaja directamente con el término “deforestación”, ya que si bien una transformación en la cobertura de la tierra donde existe bosque implica deforestación este no es el fenómeno para estudiar, si no el paso de una cobertura a la otra y lo que esto implica. Para Janetos (1997) es clara la importancia del monitoreo de cambios en el uso del suelo y cubiertas de tierra porque el crecimiento demográfico y la demanda de recursos por parte de las sociedades humanas ponen en presión el uso de la tierra por actividades industriales lo cual afecta los bienes y servicios producidos por los ecosistemas.

En Costa Rica, Sánchez (2015) define dos periodos de cambio en la cobertura boscosa: el primero desde 1960 hasta 1986 donde se producen los cambios más significativos, a este lapso de tiempo se le otorga la definición de “deforestación frontal” porque la cobertura forestal pasa de 59,5 % a 40,8 %. La pérdida total de bosque tiene el valor de 956.675 ha, siendo la tasa de deforestación de 36.800 ha/año. El segundo periodo lo llama “recuperación forestal” comienza en 1986 y termina en 2010. El valor de la cobertura pasó de 40,8 % a 51,4 %. Se mantiene estable la tasa de deforestación anual durante este periodo, por debajo de 0,25 % anual.

Este logro es resultado de interacciones entre Gobiernos que implementaron políticas de conservación y los cambios en el modelo productivo del país; es decir, cambio en el sistema productivo nacional, las nuevas generaciones de empleo, el aumento en el nivel educativo, el crecimiento en las exportaciones, entre otros. Además de la nueva legislación como la ley 7575 y el programa de pago de servicios ambientales en los años noventa son acciones que han favorecido el incremento de la cobertura forestal desde mediados de los años ochenta para llegar a aumentar en la actualidad la cobertura forestal a un 51% (Sánchez, 2015).

En los estudios de FONAFIFO (2012) y Morera & Sandoval (2018) para el año 2000 en Costa Rica se contabilizaron un total de 835.890 ha de cobertura forestal que representa un 44%, de esos 13,4% corresponden a bosque de alta densidad y un 30,5% a bosque de baja densidad. Mientras que durante los años 2009-2010 la cobertura forestal fue de 52.39% incluyendo todo tipo de coberturas, la recuperación de área boscosa más allá de seguir un patrón obedece en su mayoría al abandono de actividades agrícolas y ganaderas. La provincia de San José en el año 2005 tenía un porcentaje de cobertura forestal de 4.35% y en el año 2010 de 4.31%. Siguiendo con la línea de fragmentación/ deforestación, Hernández et al (2015) identificaron como una amenaza a la cobertura forestal el aumento del uso de la tierra bajo las categorías de urbano e infraestructura, del periodo 2011 al 2013, pues un 48% de áreas deforestadas se dio por esos motivos.

A pesar de que han existido esfuerzos gubernamentales e institucionales en Costa Rica de agendas ambientales de conservación, Herrera (2010) plantea que no logran alcanzar mínimos establecidos por la FAO en mejoras de la arborización urbana y en cantidad de áreas verdes disponibles. Por tanto, según el autor hasta que en la agenda de desarrollo no se

incluya el factor forestal se estará desaprovechando las posibilidades del esparcimiento, la interacción social, la belleza escénica y la conservación de la naturaleza a raíz de la gestión de los recursos naturales en zonas urbanas y periurbanas.

En el año 2013 el porcentaje de cobertura boscosa era de 52.4% lo que corresponde a un 62% del territorio nacional y de este un 94% correspondía a bosques siempre verde de tierra firme y bosques y bosques y matorrales secos (Sierra et al., 2016). Y “uno de los patrones más importantes del cambio de la cobertura forestal natural en Costa Rica es la fuerte tendencia a concentrarse en áreas accesibles” además, “desde fines de la década de 1990 hasta fines de la siguiente década el 65% de la pérdida neta del área forestal ocurrió a más de 30 km en línea recta de una zona urbana o infraestructura” (Sierra et al., 2016, p. 10).

Durante el período 1987-2013 los asentamientos urbanos e infraestructura representaron el factor directo de deforestación en el Valle Central y se ubicó como el más importante con un porcentaje de 54, sin embargo, detrás de esta categoría existen factores indirectos lo cuales se exponen en la tabla 2:

Tabla 2. Factores indirectos de la expansión de asentamientos urbanos e infraestructura

<i>Factores indirectos</i>		
Zona	Estructurales	Coyunturales
<i>Valle Central</i>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Migración rural-urbana ❖ Incremento en la demanda de espacios urbanos y del precio de la tierra ❖ Cambios en la estructura del empleo (urbano y turismo) 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Ciclos de precios de productos claves en la zona.

Fuente: Elaboración propia a partir de Sierra et al, 2016

En un análisis entre la población y deforestación en Costa Rica durante el período 1973-1984 Rosero & Palloni (1997) atribuyen las siguientes causas a la posible conexión entre población y deforestación: deficiencias en los mercados y en las instituciones de tenencia de la tierra, mala distribución de la propiedad de la tierra, ciertos hábitos de consumo, entre otros; sin embargo, mencionan que muy pocos estudios han intentado probar empíricamente esta tesis.

Su análisis se basa en que la probabilidad de deforestación se acrecienta con la cercanía a poblaciones de agricultores que son más numerosas, pero mencionan que el crecimiento poblacional no es la única causa directa de pérdida en la cobertura boscosa y que se asocian factores adicionales mencionados en la figura 3:

Figura 3. Factores causantes de pérdida de cobertura boscosa



Fuente: Elaboración propia a partir de Rosero & Palloni, 1997

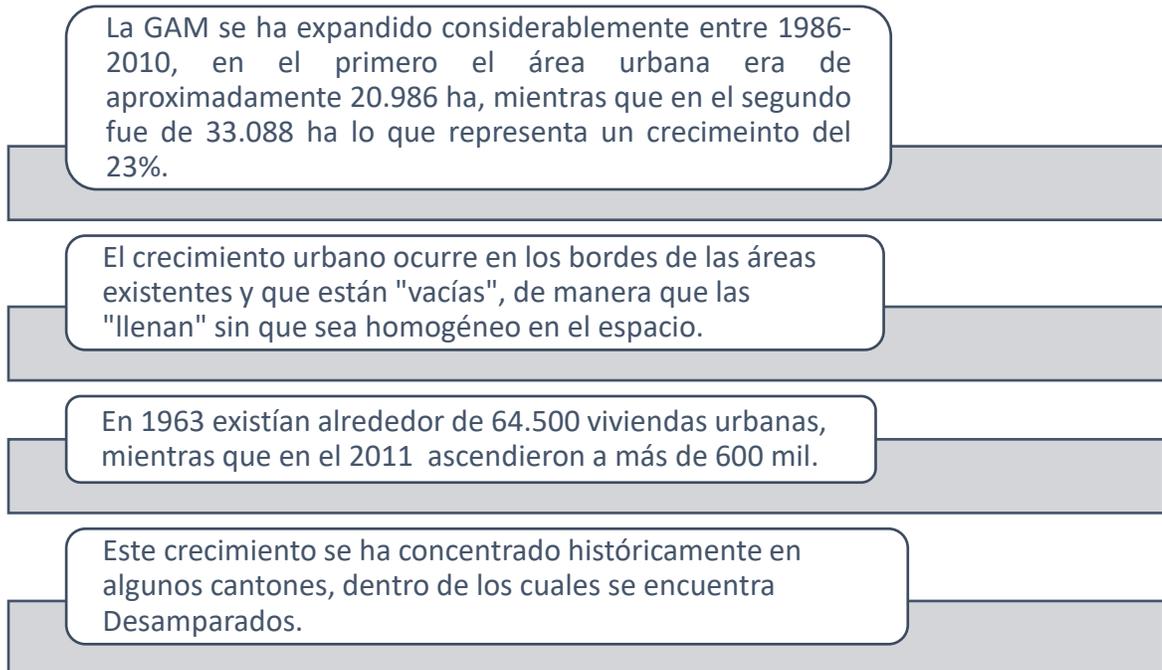
Cabe aclarar que este análisis se realizó a finales de los 90's y que la realidad era diferente a la actual pero que la transformación se da a inicios de los años 80 (Solano & Aguilar, 2017) por lo que tener claro esas bases ayudan a entender el contexto previo a las transformaciones. Entonces, en esa época “el eslabón causal más comúnmente mencionado, es la presión demográfica sobre la tierra, combinada con políticas, de gobierno favorecedoras de los asentamientos y colonización de tierras públicas para evitar la reforma agraria y como válvula de escape a la presión demográfica” (Rosero & Palloni 1997, p. 135). Mientras que Cruz (1992) concluye que en la década de 1980 aumentó la migración de precaristas hacia tierras de bosque causando la mayor degradación ambiental producto de la colonización de bosques y tierras marginales por campesinos sin tierras.

En el caso del cantón de estudio Desamparados, este se encuentra dentro de la GAM específicamente al sur de la provincia de San José por lo que no es ajeno a todas las afectaciones del crecimiento urbano. Según (Quesada & Calderón, 2018) el cambio de las condiciones demográficas obedece en su mayoría a las migraciones campo-ciudad, a la búsqueda de mejores condiciones de calidad de vida que involucran la salud, el empleo y la educación; y a la centralización institucional de diversos servicios del Estado. Asimismo, el autor menciona que este fenómeno en el cantón de Desamparados se evidencia en el cambio de los usos de la tierra hacia la urbanización porque se pasó de amplias zonas cultivadas de café, pastos y bosques a zonas de cobertura impermeable asociada a usos urbanos. Por otro lado, en el estudio de (Morera & Sandoval, 2018) se identificó un aumento de la fragmentación de cobertura natural para Desamparados del 2000 al 2015, asociado a transformaciones en actividades económicas que tienen incidencia en el paisaje natural.

Por otro lado en cuanto a la variable de expansión urbana, cabe destacar que el proceso de urbanización también inicia desde mucho antes que el período de estudio en análisis, aproximadamente en los inicios la década de 1980 en algunos sectores de Cartago, San José y Alajuela, obedeciendo a diversos factores (Solano & Aguilar, 2017). A partir de entonces se evidencia el crecimiento urbano en la GAM y con este el análisis y esfuerzos para implementar políticas gubernamentales que aboguen por un orden; esta variable en específico será analizada y expuesta en el capítulo 3 donde se pretende abarcar el ordenamiento territorial. En respecto a este capítulo se expondrá una serie de explicaciones y datos que ayuden a comprender el cambio en el uso de la tierra.

En la figura 4 se exponen los principales hallazgos de Sánchez (2014) durante el período de 1986-2010 quien expone que el crecimiento urbano se encuentra determinado por tres factores: Normativa, Política y el Mercado, siendo este último el de mayor incidencia por la correlación el crecimiento y distancia a San José y de centros industriales con la densidad poblacional:

Figura 4. Hallazgos particulares sobre la expansión urbana



Fuente: Elaboración propia con base en Sánchez, 2014.

Ahora, este cambio en la cobertura de la tierra según exponen (Ulibarri et al., 2006) obedece a un proceso en la tenencia de la tierra, dónde primero se dan asentamientos informales seguido de los años de las reformas en leyes y políticas, atribución de esta materia a diversos ministerios / entes y posteriormente la formalización privada o por medio de subsidios estatales de lo que ya en un inicio se desarrolló sin orden y planificación alguna en lo que va del período 1987-2004 además que no toda la población en precario logra formalizar dejando toda otra problemática de lado y que también avanza con el pasar de los años debido a que las leyes y reglamentos emitidos por el estado y entes pretenden casi que un desarrollo urbano utópico con problemas y limitaciones porque no se toman en cuenta las verdaderas necesidades de las comunidades, viéndose sin importancia y excluyéndose de las agendas prioritarias de los últimos gobiernos.

El principal factor que da origen a los asentamientos informales es la pobreza y con esto derivan otras necesidades sociales, sumado a que mucha población se encuentra en precarios ubicados en zonas de riesgo ambiental, la pobreza tiene relación con el aislamiento físico que

a su vez está asociado con cañones de ríos y estribaciones que bordean el Valle Central (Programa Estado de la Nación, 2014; Ulibarri et al., 2006) Sin embargo, a pesar de la creación del Ministerio de Vivienda y Asentamientos Urbanos (MIVAH) y su trabajo por controlar estas situaciones su presupuesto ha sido limitado volviendo difícil su desempeño sumado a que tiene muchas tareas y que no ha existido formalmente un ente rector de políticas en materia de vivienda y desarrollo urbano a nivel nacional (Ulibarri et al., 2006).

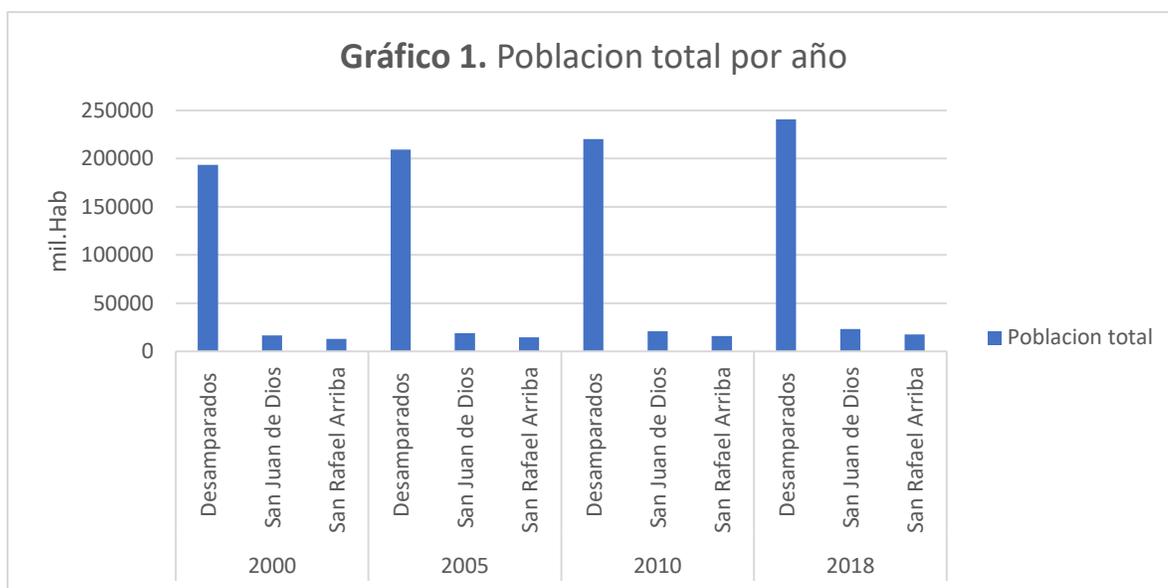
En los últimos años en la GAM “se han urbanizado tierras que en muchos casos no poseen las condiciones topográficas adecuadas ni cuentan con los servicios básicos necesarios para garantizar la calidad de vida de sus habitantes volviéndolas vulnerables a amenazas naturales (inundaciones y deslizamientos, márgenes de los ríos que cruzan el Área Metropolitana de San José)” (Programa Estado de la Nación, 2004, p. 131). Otro factor relacionado con esto es también la segregación y la contribución de las políticas públicas con esta tanto por sus acciones como por sus omisiones ya que “los proyectos de vivienda para los más pobres han atraído nuevos asentamientos en precario a sus cercanías. La ausencia de inversión en infraestructura sanitaria en muchos lugares de la región, en parte causada porque se trata de zonas que inicialmente fueron ocupadas en precario y que no eran adecuadas para el desarrollo urbano” (Programa Estado de la Nación, 2004, p. 126).

Sin embargo, inicialmente en San José, si se ocupaban terrenos relativamente adecuados para el desarrollo urbano dentro del conglomerado urbano, es decir, terrenos planos, lejos de cañones de ríos y con accesos a servicios básicos; pero ese patrón cambió en el período 1991-2002 cuando aumentaron los asentamientos y se acabaron las propiedades provocando así la invasión de terrenos con menor aptitud para el desarrollo urbanístico en áreas de difícil acceso (Programa Estado de la Nación, 2005). Durante el mismo período de 1991-2002 ya se contabilizaban precarios en Desamparados y es entonces donde ya se contaba con vías de acceso, con servicio de electricidad y agua potable, mientras que, en cuanto a la tenencia de vivienda los resultados de la encuesta “han dejado dudas sobre la información obtenida, ya que no hay claridad, si la persona encuestada interpreta que es propietario, porque “pagó” un derecho a un tercero, que en la mayoría de los casos no es el dueño legítimo del terreno. No obstante, los resultados arrojan que el 63% de las viviendas se encuentran en una condición de ilegalidad y el 29% son viviendas propias” (Ulibarri et al., 2006, p. 24).

En el informe del año 2005 del Programa Estado de la Nación (PEN) (2005) se expusieron los resultados de la valoración de incidencia de las políticas de vivienda en la evolución de los asentamientos en la GAM, que, aunque no coinciden directamente con las concentraciones de pobreza si se encuentran relacionadas y se llega a la conclusión de que la falta de política estatal coherente, planificada y comprometida es una de las causas de que en menos de dos décadas se duplicaran los asentamientos en la GAM.

Específicamente el área de análisis no es ajena a dicha situación ya que ha presentado procesos de fragmentación boscosa y transiciones en su configuración de rural a urbano (Morera & Sandoval, 2018; Quesada & Calderón, 2018). En comparación con otros cantones ocupó el cuarto lugar en crecimiento urbano para los años 1986, 1997 y 2010 superando las 4000 ha de área urbana para el último año lo que representa un crecimiento absoluto en hectáreas de 242, 2 en el período 1997-2010, por otro lado, en lo que a vivienda respecta para el año 2000 se contabilizaron 50.033, mientras que para el año 2011 aumentó a 55.743 lo que representa un crecimiento absoluto de 5.710 (Sánchez, 2014). Y para el período 1993-2000 contaba con 261.530m² de construcción urbana dónde para 2001-2011 se evidencia un aumento llegando a 502.306m² (Solano & Aguilar, 2017). Concretamente el grafico 1 muestra la comparación del aumento en la población en los años de cortes que se realizaron.

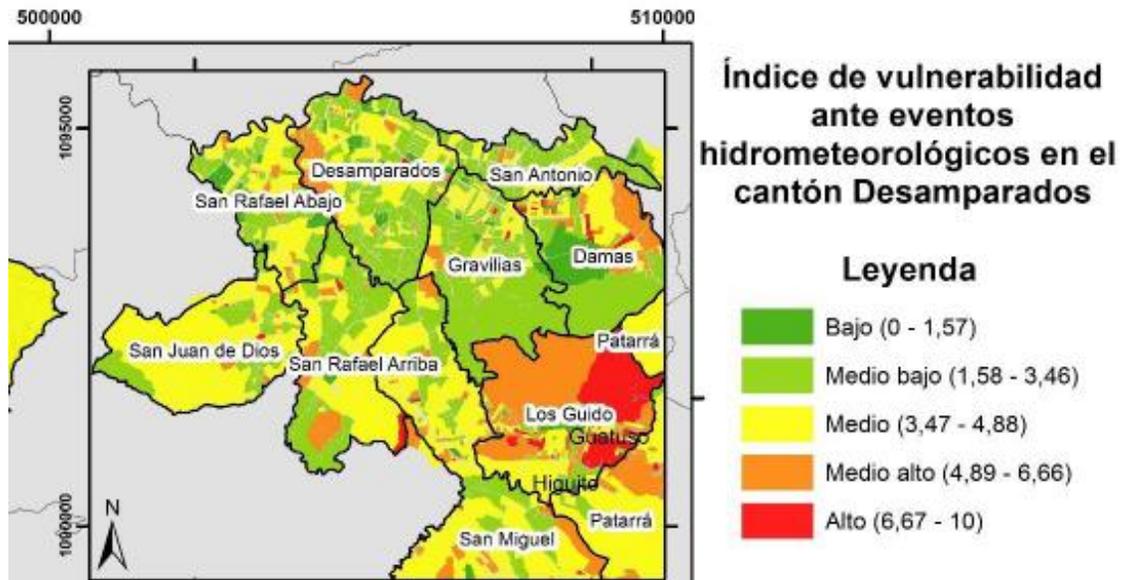
Gráfico 1. Población total por cantón y distrito



Fuente: Elaboración propia con base en INEC, 2014

Y en términos de la relación existente entre el aumento de la población y la vulnerabilidad, la figura 5 muestra un extracto del mapa de vulnerabilidad ante eventos hidrometeorológicos en el cantón de Desamparados durante el periodo 1988-2017.

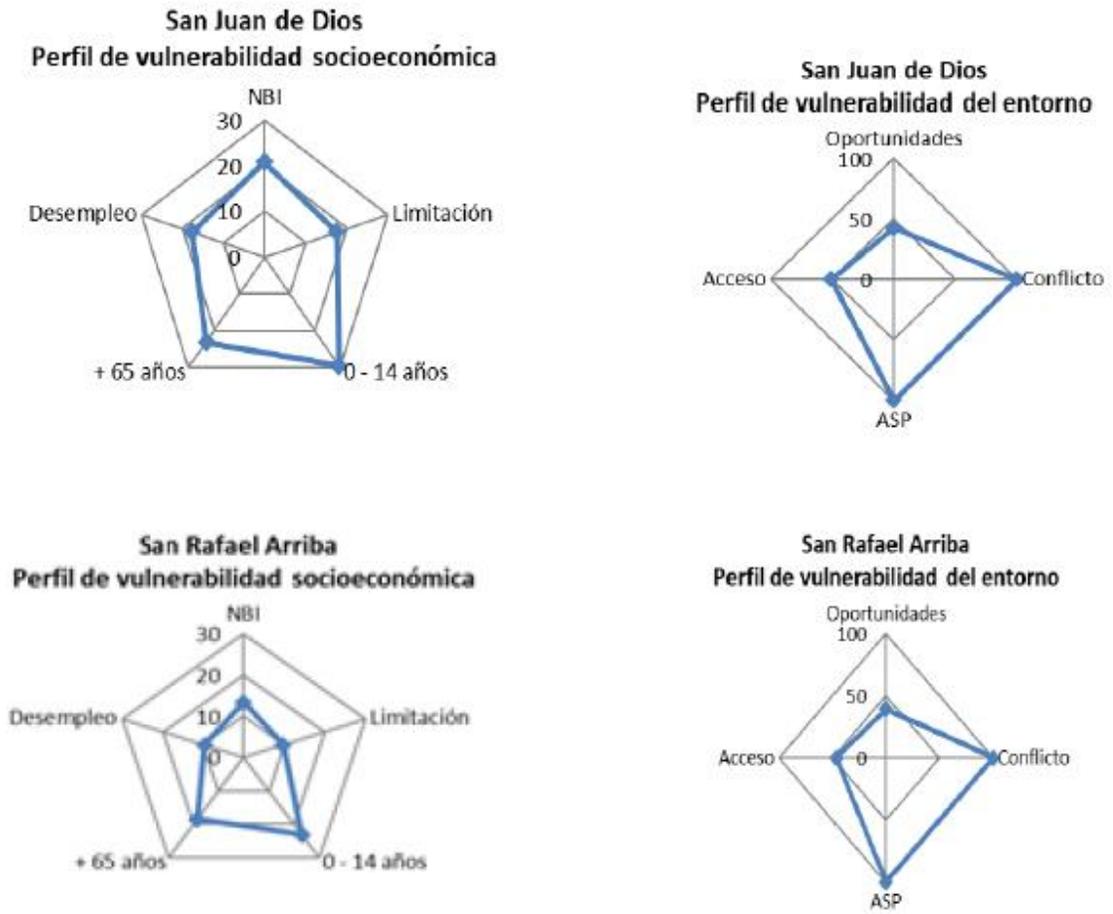
Figura 5. Vulnerabilidad ante eventos hidrometeorológicos



Fuente: Charpentier et al, 2021.

En la cual se analiza el riesgo total para el cantón a partir de indicadores socio – espaciales y se aprecia que justamente los distritos de San Juan de Dios y San Rafael Arriba en su mayoría presentan un índice medio y de igual manera los autores hacen referencia al aumento poblacional que se ha dado en los últimos años y que esto conlleva una mayor exposición ante eventos (Charpentier et al, 2021). Para este análisis se toman en cuenta variables como la pobreza, limitaciones físicas o mentales y población adulta mayor y desempleo lo cual refuerza la teoría que algunos asentamientos se relacionan con la falta de oportunidades. Estas variables para los distritos de estudio se muestran en la figura 6 y es posible observar que en términos de vulnerabilidad socioeconómica San Juan de Dios es más vulnerable y para vulnerabilidad del entorno ambos distritos presentan conflictos y vulnerabilidad en áreas silvestres protegidas.

Figura 6. Perfil de vulnerabilidad promedio según componente por distrito



Fuente: Charpentier et al, 2021.

Resultados

Cobertura boscosa del año 2000

Mapa 2. Cobertura boscosa por porcentaje para el año 2000

Cobertura boscosa por porcentaje para el año 2000

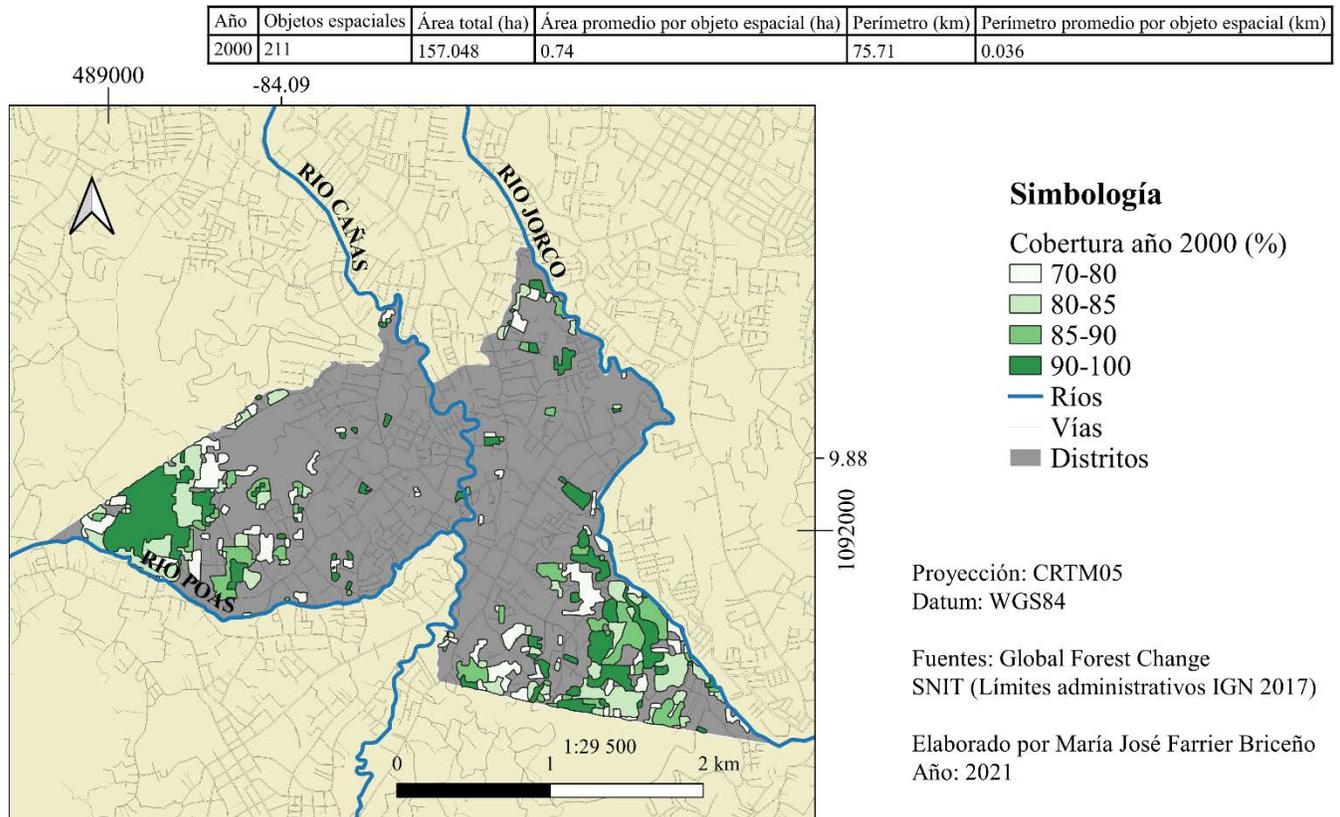


Tabla 3. Estadísticas para los datos de la cobertura del año 2000

Año	Cantidad de objetos espaciales	Área total (ha)	Área promedio por objeto espacial	Perímetro (km)	Perímetro promedio por objeto espacial (km)
2000	211	157.048	0.744305	75.7084	0.358807

Fuente: Elaboración propia con base en Global Forest Change, 2018

Para ese año se puede apreciar en el mapa como aún predominaba un área considerable de cobertura boscosa, en la tabla 4 se muestra la cantidad de objetos espaciales por categoría:

Tabla 4. Cantidad de objetos espaciales por categoría

<i>Porcentaje de cobertura</i>	<i>Simbología</i>	<i>Cantidad de objetos espaciales</i>
70-80		84
80-85		48
85-90		39
90-100		57

Fuente: Elaboración propia

Lo que evidencia que, si quedaba cobertura boscosa, pero la misma es escasa (la explicación de esta categorización se aborda en la metodología) en primer lugar y en segundo lugar cobertura con porcentaje de 90-100 que seguía siendo bueno; se puede ver que dicha cobertura se agrupa en los extremos de ambos distritos y en el centro solo se observan algunos parches lo que obedece a la configuración urbana.

Pérdidas boscosas por año durante el período 2001-2018

Mapa 3. Pérdidas boscosas por año durante el período 2001-2018

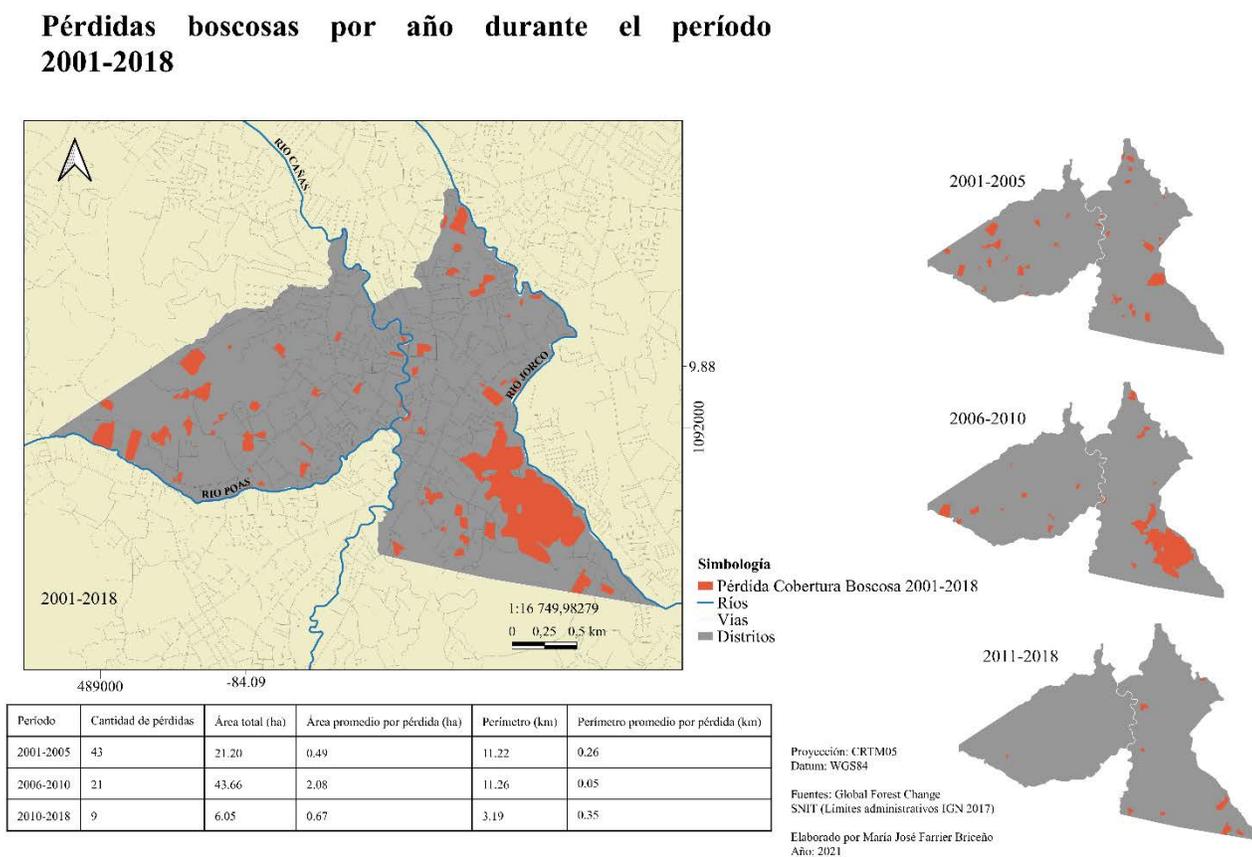


Tabla 5. Estadísticas para los datos de pérdida de cobertura durante el período 2001-2018

<i>Período</i>	<i>Cantidad de "parches de pérdidas"</i>	<i>Área total (ha)</i>	<i>Área promedio por parche (ha)</i>	<i>Perímetro (km)</i>	<i>Perímetro promedio por parche (km)</i>
<i>2001-2005</i>	43	21.20	0.49	11.22	0.26
<i>2006-2010</i>	21	43.67	2.08	11.26	0.54
<i>2010-2018</i>	9	6.05	0.67	3.19	0.35

Fuente: Elaboración propia con base en Global Forest Change, 2018

En este caso se puede observar cómo las pérdidas se reflejan a lo largo del área de estudio de una manera más homogénea, tanto cerca de los ríos como en la zona del centro y en las zonas más alejadas del mismo. Algunos de los hallazgos tienen particularidades que serán expuestas en la tabla 6 a continuación:

Tabla 6. Hallazgos con particularidades de las pérdidas de cobertura boscosa

Año	<i>Imagen al año 2005</i>	<i>Imagen al año 2017</i>	<i>Descripción</i>
2002			<p>Este parche representa una transición de cobertura boscosa a lo que aparenta ser un cultivo, tres años después del año de pérdida se evidencia que ya no existían muchos árboles si no que cultivo y mucho tiempo después ya se aprecia con muy poca presencia de árboles.</p>
			<p>Este es lo que se llamó una inconsistencia ya que el año de pérdida debió ser el 2002 lo que indica que en el año 2005 debería verse reflejado y no se ve, es decir no fue una pérdida o se recuperó, sin embargo, para el año 2017 se evidencia que al final si fue una pérdida.</p>



En esta ocasión, dos parches ejemplifican que para el año 2005 efectivamente ya no había tanta cobertura boscosa sino más bien una zona de cultivos y que para el año 2017 se terminan de eliminar los árboles que quedaban siendo ya una pérdida.



Este es un ejemplo claro de la transición hacia cobertura urbana / residencial, en el año 2005 se ve que si hubo pérdida porque ya hay construcciones y en el año 2017 estas aumentan.

2005



Este es otro ejemplo claro de urbanización, en el año 2005 se evidencia pérdida de cobertura y para el año 2017 construcción.

2006



Este caso es otra inconsistencia ya que si la pérdida fue en el 2006 quiere decir que en el 2005 aún debería estar y no se ve así, la pérdida fue antes y de igual manera en el año 2017 se reflejan construcciones.



En este caso se ejemplifica una ocupación de la ribera del río Cañas la cual se evidencia en el año 2005, pero, para el año 2017 algunas de las construcciones ya no se evidencian.

2008



Este ejemplo es muy claro ya que antes de la pérdida se refleja aún la existencia de cobertura boscosa y posterior a la pérdida la construcción de edificaciones privadas.

2009



Este caso es particular porque si se refleja una pérdida después del año 2005 y transición hacia cobertura urbana pero antes del año 2005 también se aprecia otro uso de suelo, lo que implicaría un cambio en el uso de suelo.

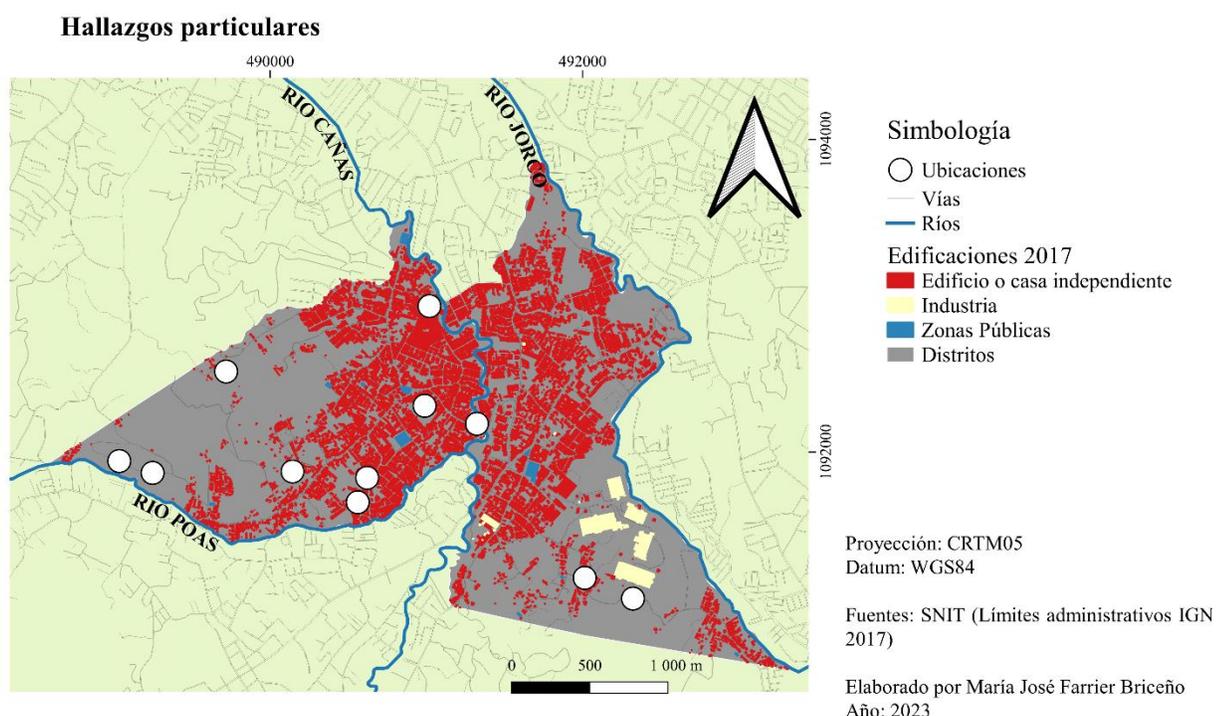


Fuente: Elaboración propia con base en ortofotos 2005 y 2017. SNIT, 2021.

El análisis de los datos permite comprender y a su vez descubrir la realidad de cada parche de pérdida de manera que se indique que efectivamente hubo pérdida de cobertura boscosa y con esta la transición en los cambios de uso de suelo. En la tabla anterior se exponen los más particulares ya que en el análisis los demás si se evidencia una pérdida, los expuestos concuerdan con lo encontrado en la literatura cuando se ubican asentamientos cerca de los ríos y que no poseen las condiciones y servicios básicos necesarios para vivir (Programa Estado de la Nación, 2004, 2014), también concuerdan en el tema de vías de acceso mencionado por Rosero & Palloni (1997) y Ulibarri et al (2006) específicamente en la carretera hacia Higuito que en el año 2005 se observaba un camino de lastre estando así años atrás y para el año 2017 ya contaba con pavimento además del aumento en las construcciones

indicando la necesidad de una mejora en acceso vial. El mapa 4 expuesto a continuación muestra la ubicación de estos hallazgos particulares en el cual se evidencia que la mayoría se encuentra en el distrito de San Juan de Dios en las cercanías del río Poás y de igual manera en la zona urbana.

Mapa 4. Hallazgos particulares



Otros factores que se corroboran a través del análisis de las imágenes los cuales también son causas de la pérdida de cobertura boscosa e implica un cambio en el uso del suelo son el desarrollo industrial y comercial (Burke et *al.*, 2012; Grupo Consultivo de Expertos (GCE), s.f.). Existen dos ejemplos claros para cada uno que se exponen a continuación:

❖ Zona Franca Las Brisas en San Rafael Arriba

Imagen 2. Área de zona franca Las Brisas en el año 2005 y 2017



Fuente: Ortofoto 2005 y 2017 SNIT, 2021.

La imagen 2 muestra el área que se cataloga como pérdida en los años 2004, 2007, 2007, 2009 y 2018 sin embargo, en la ortofoto del año 2005 es posible observar que la cobertura boscosa era casi nula y que correspondía más bien a cultivos (café) lo cual resalta la importancia del análisis de datos ya que el sensor de Landsat captura en el espectro Infrarrojo Cercano (NIR por sus siglas en inglés) con lo que además de cobertura forestal captura vegetación sana como plantas, cultivos, en general cobertura vegetal (Hansen, 2013). Ya en el año 2017 se observa la construcción total de la Zona Franca y la eliminación de los pocos árboles que quedaban evidenciando un cambio en el uso de suelo de agrícola a industrial. En general, los resultados expuestos son las pérdidas que realmente brindan aporte a la investigación y no de parches que no representan pérdida boscosa. Otro aspecto para destacar sobre esta área es el inconveniente que tuvo al inicio de su construcción por causar daños ambientales a raíz del entubamiento y construcción de sus obras sobre el río Jorco y tres quebradas más, tanto así que en el año 2011 se enviaron oficios a SETENA y al Tribunal Ambiental Administrativo (TAA) para conocer respuesta a las inquietudes que ya venía planteando el SINAC sobre el tema (Chacón, 2011). Además, mediante el documento SRC-OSJ-297-10 se le solicitó al TAA la aclaración de dos puntos: primero que si construir sobre entubamientos de cuerpos de agua constituye un delito y segundo que desde enero del año 2010 recibió un informe cuyas conclusiones apuntaban que la empresa no cumplió con la

obligación de delimitar áreas de protección, lo cual se debe realizar con la participación del Instituto de Vivienda y Urbanismo (INVU) (Chacón, 2011).

En ese año el diputado Monge mencionó que la afectación de fuentes de agua se da en muchos sitios del país y que ocurre como consecuencia de la irresponsabilidad de las municipalidades del no respeto a las leyes, planes reguladores y reglamentos de la GAM donde se establecen las áreas de protección y la distancia que debe existir las construcciones y los cuerpos de agua que en el caso del río Jorco son 50m que debe ser medida a lo largo de la ladera pero se hace caso omiso (Chacón, 2011).

Actualmente la zona franca opera con normalidad y se muestra en la figura 3 a continuación:

Imagen 3. Zona franca Las Brisas



Fuente: Fotografías propias, 2021

❖ Centro Comercial Expresso en San Rafael Arriba

Imagen 4. Área del centro Comercial Expresso en los años 2005 y 2017

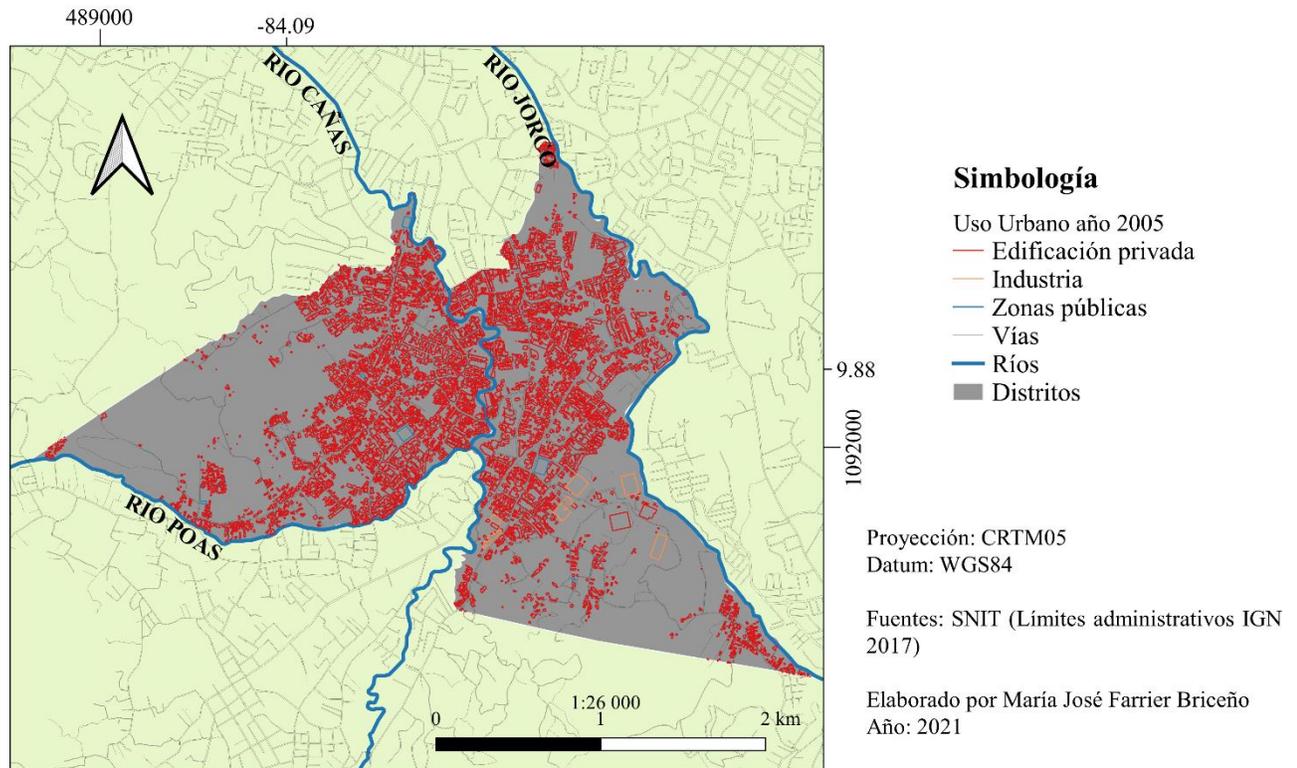


Fuente: Ortofoto 2005 y 2017 SNIT, 2021.

En este caso en la imagen 4 se muestran pérdidas se asocian a los años 2016 y 2001, pero también es posible observar como en el año 2005 la predominancia no era de cobertura boscosa para la totalidad del terreno, sino que había árboles dispersos y en esa ocasión supone un cambio de uso hacia comercial como se aprecia en el año 2017 con la edificación presente. Un aspecto en común entre este caso y el anterior es que ambos son en las cercanías del río Jorco.

Mapa 5. Cobertura urbana para el año 2005

Uso Urbano al año 2005



Mapa 6. Cobertura urbana para el año 2017

Uso Urbano al año 2017

Año	Objetos espaciales	Área total (ha)	Área promedio por objeto espacial (ha)	Perímetro (km)	Perímetro promedio por objeto espacial (km)
2017	3996	139.071	0.03	330.189	0.08

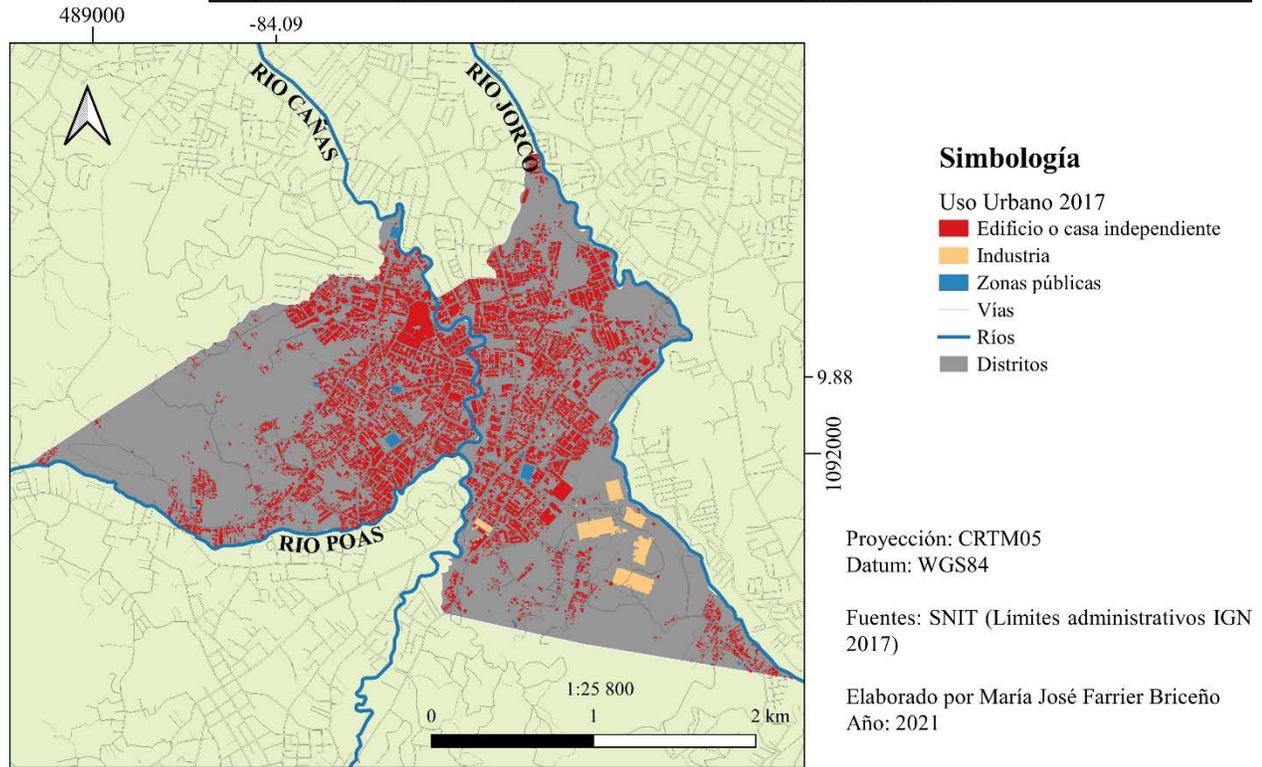


Tabla 7. Estadísticas para los datos de la cobertura urbana del año 2017

Año	Cantidad de objetos espaciales	Área total (ha)	Área promedio por objeto espacial	Perímetro (km)	Perímetro promedio por objeto espacial (km)
2017	3996	139.071	0.0348025	330.189	0.08263

Fuente: Elaboración propia con base en Límites administrativos del IGN (SNIT), 2017

Para este caso las categorías a analizar son: Edificio o casa independiente / Edificación privada, Industria y Zonas públicas siendo la primera la de mayor predominancia y aglomeración hacia el centro del área de estudio e incluso por el cauce del río Cañas más predominada mente. Esto coincide con lo mencionado en la literatura sobre el crecimiento

desordenado de la cobertura urbana ya que no es posible apreciar un orden, sino más bien una expansión desde el centro o bien áreas accesibles hacia la periferia además de que las pocas zonas que quedan sin ocupación urbana coinciden con lo que queda de cobertura (Sierra et *al.*, 2016). Además, gracias al recorrido de campo se percibe aún que el uso predominante de la cobertura que no se ha perdido en el distrito de San Juan de Dios es lotes sin ocupación, mientras que en San Rafael es un uso más agrícola pero evidentemente el uso predominante en ambos es urbano, en su mayoría casas de habitación correspondiendo con la categoría observada en los mapas de “edificaciones privadas / edificio o casa independiente” y con lo que mencionan Quesada & Calderón (2018) sobre el cambio en Desamparados de zonas de cultivo, pastos y bosques hacia cobertura impermeable asociada a usos urbanos.

X. CAPÍTULO 2: RELACIÓN ENTRE CAMBIOS EN LA COBERTURA DE LA TIERRA Y LA INCIDENCIA EN INUNDACIONES

En este capítulo se pretende establecer la relación entre cambios en la cobertura de la tierra y la incidencia en inundaciones a partir de dos líneas de orientación; primero se expondrá el concepto de servicios ecosistémicos y cómo el mapeo de estos es un insumo relevante para la planificación urbana y segundo, se expondrá sobre el proceso de generación de escorrentía e inundación y los antecedentes en la zona de estudio para luego presentar los resultados obtenidos con su respectiva observación.

Análisis de Servicios Ecosistémicos y su integración en procesos de tomas de decisiones.

El concepto de SE es definido por Corredor et al (2012) como “todos aquellos beneficios que la sociedad obtiene de los ecosistemas” (p.78-79). Existen tres distintos tipos de SE, primero los que se pueden consumir directamente, llamados servicios de suministro o provisión que incluyen los alimentos, agua, fuentes de energía, materiales de construcción y otros. Segundo, los que pueden regular las condiciones en las que se habita y en las que se desarrolla la actividad económica que se denominan servicios de regulación e incluyen la regulación climática, *la regulación de inundaciones* y la protección costera y tercero, se tienen los servicios culturales que pueden ser tangibles o no tangibles y se atribuyen más a las experiencias satisfactorias vividas por el ser humano, su sentido de identidad, el legado cultural y el sentido de pertenencia (Balvanera, 2012). La tabla 8 lo ejemplifica:

Tabla 8. Clasificación de los Servicios Ecosistémicos

<i>Servicio</i>	<i>Servicios de suministro o provisión</i>	<i>Servicios de regulación</i>	<i>Servicios Culturales</i>
<i>Beneficio</i>	Alimentos, agua, fuentes de energía, etc.	Regulación climática, de inundaciones y protección costera	Tangibles o intangibles.

Fuente: Elaboración propia con base en: Balvanera, 2012

El tipo de SE que más se adapta a la presente investigación son **los de regulación**, tienen alta importancia y se obtienen directamente de los ecosistemas, no sufren cambios mediante

procesos industriales o de mercadeo, además, el área de estudio es un ecosistema que se rige bajo actividades productivas del ser humano. Dentro de esta categoría se trabajará con el servicio de **control de inundaciones** que es uno de los SE de regulación que brindan los bosques y que tienen como función regular caudales para mitigar inundaciones, la recarga de acuíferos con caudal durante épocas secas, así como la purificación del agua y el control de la erosión (Balvanera, 2012; Corredor et al., 2012).

Ahora, como el ambiente en el que se desarrolla la investigación es urbano, entonces es pertinente abarcar el concepto relacionado a **Servicios Ecosistémicos Urbanos (SEU)** que incluye aquellos servicios que son directamente producidos por estructuras ecológicas dentro de áreas urbanas o regiones periurbanas (Luederitz et al., 2015) y Haase (2015) comenta que como los ya definidos SE los mismos se extienden a los ecosistemas de las zonas urbanas.

En cuanto a la planificación urbana, “con motivo de establecer relaciones entre los subsistemas que forman la ciudad, ya sean artificiales, naturales o naturalizados, resulta clave lograr incluir en la toma de decisiones del uso del territorio, los conceptos asociados a los servicios ecosistémicos, para que tras una valoración previa se utilicen en planificación” (Perona, 2017, p. 86). Ya que de esta manera se logra poner en evidencia procesos e intercambio de información esenciales para la comprensión del funcionamiento de los ecosistemas y su implicación en el estilo de vida del ser humano (Perona, 2017).

Para Daily et al (2011) la importancia de mantener el capital natural y los SE que derivan de este se vuelve cada vez más trascendente en países tanto pobres como ricos y mencionan que la integración de los SE en decisiones del día a día requiere un método sistemático para caracterizar su valor y el cambio en el valor resultante pueda guiar diferentes políticas alternativas (Daily et al., 2011). Ahora, ¿por qué es importante valorar la naturaleza? Goulder & Kennedy (2011) mencionan que a muchos de los SE que se generan no se les da un precio en el mercado lo que conlleva a un uso irracional de los mismos y a el colapso del sistema, es por eso que “la política pública tiene un papel crucial que desempeñar en la regulación o la influencia de los mercados para evitar que produzcan resultados sociales desafortunados

particularmente en temas de vivienda ya que los desarrolladores urbanos impulsarán la conversión del espacio abierto hacia nuevos sitios de vivienda” (p.15)

La base más importante para apoyar una política que protegería los SE amenazados es evidenciar que la sociedad gana más valor protegiéndolos que renunciando a su protección y para esto se requiere un entendimiento de los procesos biofísicos involucrados lo que primero lleva a examinar las bases filosóficas de los valores de los SE y segundo establecer varios métodos para la medición de dichos valores; esto conlleva una base robusta para la toma de decisiones y la realización de políticas públicas (Goulder & Kennedy, 2011).

En el caso de los SE de regulación, Ennaanay et al (2011) se enfocaron en el valor hidrológico y económico de lo que puede ser destruido tras un pico de tormenta con potencial de provocar una inundación estudiando la severidad de la misma en términos del volumen de agua, los caudales y los daños; esto con la creación de modelos tanto para la tormenta y la tierra, además de calcular el daño en función de la tormenta, mencionan también que la combinación de factores meteorológicos y geofísicos son los factores más influyentes en este tipo de eventos. Para el caso de la escorrentía los procesos de más relevancia son el flujo terrestre hortoniano y el flujo de saturación que va a depender de las características del suelo. En este caso, Polasky et al (2011) creen que el cambio en el uso de la tierra y una inadecuada administración afecta la provisión y el valor de los SE, así como el de la biodiversidad además de que existe una gran diversidad de objetivos de preservación / manejo por lo que puede complicar las decisiones en la gestión. Una de las herramientas que mencionan podría contribuir tanto en la protección de la biodiversidad como en la generación de SE es la creación y comparación de mapas ya que si se maneja correctamente se pueden localizar áreas a proteger y determinar el tamaño de estas.

Además, en su análisis mencionan que, en la opinión de economistas los valores incluyendo el de la biodiversidad se pueden medir con métodos económicos como estimación de los valores monetarios con precios de mercado o bien, con técnicas de valoración que no sean de mercado (Polasky et al., 2011). Aunado a esto, “un aspecto importante de integrar los modelos espaciales en la toma de decisiones es la habilidad no solo de mostrar el valor total de los SE, si no de comprender la distribución de estos beneficios en diversos grupos de la sociedad ya que contribuye en el diseño de políticas apropiadas para garantizar que quienes

toman decisiones que afectan a los ecosistemas tengan incentivos para proporcionar SE de valor para la sociedad”(Polasky et *al.*, 2011, p. 261).

Incorporar los SE en las decisiones tiene las siguientes relevancias: en el caso de un modelo que incluya un marco integrado con múltiples SE “proporciona estándares consistentes para evaluar proyectos y políticas, fomenta la consideración de todos los servicios de los ecosistemas, incluidos aquellos que no se han enfatizado en políticas anteriores, permite el análisis de trade-offs entre diferentes servicios ecosistémicos, partes interesadas y áreas geográficas e informa y alienta la gestión coordinada, multisectorial y basada en ecosistemas” (McKenzie et *al.*, 2011, p. 340) y para el caso de un modelo que produzca información sobre valores económicos “enfatisa la conexión entre la sostenibilidad ambiental y el desarrollo económico, proporciona una métrica monetaria común que facilita la conversión de alternativas de política y puede alimentar el análisis de costo-beneficio” (McKenzie et *al.*, 2011, p. 340).

Generación de escorrentía e inundaciones urbanas

Una inundación sucede cuando “las aguas de los ríos, riachuelos y galerías pluviales salen del lecho del escurrimiento debido a la falta de capacidad de transporte de uno de estos sistemas y pasa a ocupar el espacio que la población utiliza para vivienda, transporte, recreación, comercio, industria y otros”(Tucci, 2007, p. 40). Antes de que esta se origine, se atraviesa el ciclo hidrológico que incluye procesos como precipitación, evaporación, intercepción, infiltración y escorrentía; esta última se define como: “el agua de precipitación que se mueve bajo y sobre la superficie hasta alcanzar una corriente de agua que drenara su volumen hacia la salida de la cuenca y se divide en tres tipos: superficial, subsuperficial y subterránea” (Lozano-Rivas, 2018). Para efectos de esta investigación se trabaja con la escorrentía superficial que resulta del flujo de agua sobre el terreno y el escurrimiento de las corrientes hídricas; en las cuencas urbanas la infiltración es baja y el almacenamiento en el suelo se evapora, por lo que la escorrentía directa corresponde a casi toda la totalidad de la precipitación (Lozano-Rivas, 2018). Los siguientes son los factores que influyen en la generación de escorrentía:

- Intensidad y duración de la lluvia
- Lluvias previas
- El área de la cuenca
- El tipo y características del suelo
- La infraestructura de almacenamiento como embalses
- La rectificación y canalización de los ríos

Una inundación entonces se cataloga como la invasión temporal de agua bajo el efecto de un río, lago u otros en zonas que bajo condiciones normales se mantienen secas, sin embargo, se debe hacer referencia a la alteración de cuencas o microcuencas hidrográficas que se produce por deforestación, corte de árboles o bosques, dejando al suelo sin cobertura vegetal produciendo baja retención e infiltración de lluvia que generaría escorrentía con potencial de convertirse en inundación ya sea lenta o repentina. (Balvanera, 2012; Monge et al., 1995)

Sin embargo, los procesos que conlleva el ciclo hidrológico cambian con la cobertura vegetal, es decir que “los bosques desempeñan importantes funciones de amortiguación, como el enfriamiento, la interceptación de la lluvia y la infiltración y la retención del agua. Por consiguiente, pueden mitigar los fenómenos meteorológicos extremos y reducir los efectos del cambio climático en los recursos hídricos” (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO), 2021).

Por otro lado, Bonnesoeur et al (2019) mencionan que “la cubierta vegetal superficial es clave para proteger la superficie del suelo de la erosión hídrica tanto a escala de parcela como de cuenca” (p.15) y que estudios a nivel de parcela de la interceptación de la lluvia confirman cómo la cubierta forestal causó una reducción en los rendimientos de agua a escala de cuenca. Y para Bonell & Brujinzeel (2005) uno de los efectos de los bosques en la lluvia es la evaporación que reduciendo el volumen de agua que llega al suelo y por ende la que se convierte en escorrentía superficial.

Además, según Calder (1998) basado en consideraciones teóricas, “esperaría que la interceptación de la lluvia por los bosques reduzca las inundaciones al eliminar una proporción de la lluvia tormentosa y al permitir la acumulación de déficit de humedad del suelo. Se espera que estos efectos sean más significativos para las tormentas pequeñas y menos significativos para las tormentas más grandes” (p.8).

En el caso de inundaciones urbanas, a nivel nacional durante el período 2002-2012 se presentaron 5.614 eventos por inundación siendo esta temática más frecuente en la sociedad en general, el aumento en la población y la falta de ordenamiento territorial han influido en la vulnerabilidad de varios países catalogándolas como la segunda causa de desastre a nivel mundial en los últimos 5 años y Costa Rica no es la excepción (Cubero & Carvajal, 2014).

En el país un 59.4% de desastres corresponde a inundaciones las cuales también se asocian con eventos hidrometeorológicos como avenidas torrenciales, lluvias intensas, deslizamientos vendavales y otros; para el año 2005 los daños por desastres hidrometeorológicos representaron un 0.32% del PIB lo cual evidencia que desde hace mucho tiempo se necesitaba trabajar en estrategias que mitiguen estos efectos (Cubero & Carvajal, 2014). De igual manera para Cubero & Carvajal (2014) un aspecto importante a tomar en cuenta es el hecho de la aleatoriedad en que se presentan las inundaciones porque de esto va a depender las estrategias de disminución y los efectos a largo plazo ya que si las inundaciones son lentas o progresivas pueden durar hasta días y es complejo porque depende también del tipo de superficie dónde se den necesitando así intervenciones integrales en la toma de decisiones para lograr una mejor mitigación que abarque la mayoría de las necesidades tanto de civiles como de los municipios.

Para Campos & Quesada (2017) las condiciones geográficas, geológicas, geomorfológicas y climáticas que presenta Costa Rica contribuyen en su vulnerabilidad ante fenómenos atmosféricos generando en turnos impactos en la dinámica socioeconómica y asociado principalmente al crecimiento urbano en el GAM. Estas condiciones de mayor exposición por parte de grupos los hacen más susceptibles a diversas problemáticas asociado a la poca conexión entre instituciones y falta de planificación.

En el período 2000-2015 entre setiembre y octubre se concentró alrededor del 35% de los eventos hidrometeorológicos extremos provocados por temporada de lluvias, sistemas de baja presión y la influencia de ciclones tropicales, los impactos se concentran en las áreas que tienen mayor densidad poblacional como la GAM y cantones con población alta importante (Campos & Quesada, 2017). Y en el caso del área de estudio, “el cantón de Desamparados presentó 376 eventos hidrometeorológicos (incluidas las inundaciones)

siendo el segundo cantón con mayor cifra y cabe destacar que las afectaciones de dichos eventos han sido en territorios urbanos principalmente debido al ineficiente sistema de alcantarillado y al desbordamiento de ríos y quebradas” (Campos & Quesada, 2017, p. 450)

Según Campos & Quesada (2017, pp. 60–61) algunas de las causas de esas condiciones son:

- ❖ La contaminación ambiental, la vulnerabilidad hídrica, el colapso vial de vías principales y secundarias
- ❖ La impermeabilización de los suelos y la falta de zonas verdes suficientes para permitir la infiltración natural de las aguas pluviales
- ❖ Los índices de densidad poblacional mayores del país asociados al crecimiento poblacional urbano acelerado
- ❖ La demanda de servicios e infraestructura pública y privada
- ❖ El desarrollo de anillos de pobreza y tugurios

Y lo asocian con lo que llaman “vulnerabilidad institucional” ya que no se coordina un efectivo ordenamiento territorial a diversas escalas de entendimientos que incorpore la gestión del riesgo de desastres de una manera integral y tenga claridad en las metodologías que definen las condiciones ambientales de cada unidad territorial. Además, “la problemática de los desastres también se encuentra relacionada con el crecimiento de asentamientos humanos y su desarrollo económico además de evidenciar ausencia de planificación socio-territorial unido a un síndrome sostenido de deterioro ambiental y a un incremento exponencial de la vulnerabilidad regional” lo que genera desafíos en desarrollar nuevas estrategias para reducir las crecientes incidencias por desastres (Salgado, 2009, p. 7).

En el año 2009 se evidenciaba que las cuencas hidrográficas del país tenían usos de la tierra en conflictos y presentan cambios agresivos en su manejo lo que altera sus capacidades de uso y consecuentemente una línea histórica de riesgos por inundación dónde la responsabilidad cae al ser humano (Salgado, 2009). En el caso de la GAM la dinámica de sucesos hidrometeorológicos tiene a generar múltiples problemas por resolver como la recuperación física y ambiental de microcuencas por parte de autoridades nacionales y municipalidades, por ejemplo, en la cuenca del río Cañas que se encuentra dentro del área de estudio involucra a las municipalidades de Desamparados, Aserrí y Alajuelita y sus respectivos procesos urbanos tienen intensidad de ocupación diferentes, así como conflictos

uso de la tierra extensivos que de igual manera requieren de acuerdos intermunicipales que puedan generar políticas para contrarrestar posibles impactos futuros (Salgado, 2009).

Aunado a esto, no se vislumbraban consensos para un manejo integral de cuencas en el caso de cuencas que abarquen varios cantones y conjuntando ambas divisiones (cantones y cuencas) en el contexto territorial de amenazas por sucesos hidrometeorológicos los riesgos se caracterizan por: “Inundaciones locales principalmente en áreas urbanas intensas y de gran deterioro físico. Las lluvias intensas y prolongadas en la GAM (entre 20mm y 40 mm por hora), unidas a una red inadecuada de alcantarillado urbano, continuarán provocando inundaciones focales. La *impermeabilización de suelos*, la evacuación de aguas servidas y pluviales sin control en asocio con el manejo inadecuado de todo tipo de desechos continúan siendo unos de los mayores retos a enfrentar en el corto y mediano plazos a partir de la acción de las municipalidades, que cuentan con herramientas como el plan regulador, y de otros sectores gubernamentales y privados, para la recuperación físico-ambiental de cuencas históricamente alteradas” (Salgado, 2009, p. 10).

Ahora, a nivel del Valle Central las amenazas más recurrentes son las inundaciones con un 57%. A pesar de que existan diversas leyes, planificaciones y políticas públicas para contrarrestar estos efectos las mismas no se aplican en su totalidad, sus escalas de trabajo son diferentes y las regiones de planificación no son oficiales (Quesada, 2015). Dentro de los tipos de amenazas hidrometeorológicas se consideran: vendavales, frentes fríos, sistemas de bajas presiones, ciclones tropicales, lluvias extraordinarias, inundaciones, marejadas, olas de calor, deslizamientos y estas ocupan el segundo lugar en afectación para Costa Rica (Quesada, 2015). En el caso de Desamparados, durante el periodo 1985-2013 se encuentra segundo en la lista de cantones con 737 eventos en general (no solo hidrometeorológicos) por debajo de Alajuela en una lista de cantones urbanos evidenciando así “que los mayores registros de amenazas se presentan en zonas del Valle Central con mayor densidad poblacional urbana como en las cabeceras de las cuatro provincias que en algún grado lo conforman además otros que han crecido de manera trepidante en las últimas dos décadas especialmente Desamparados”(Quesada, 2015, p. 8).

En el cantón de estudio la categoría de **avenida torrencial** tuvo una presencia de 3 o más eventos, la categoría de **inundación, lluvias, tempestad, tormenta eléctrica** tuvo 418 eventos, siendo en general esta categoría la amenaza con mayor ocurrencia en el Valle Central, además, en tres categorías Desamparados aparece como el primer lugar; las inundaciones como uno de los procesos más recurrentes causan millones de dólares en pérdidas económicas y afectan diversas áreas sociales; el balance total durante los años 2005 y 2011 por declaratorias de emergencia, el 64.32% fue en zonas urbanas del Valle Central y debido a su alta densidad poblacional las implicaciones sociales trascienden del impacto económico como daños en la infraestructura ya que los desastres limitan el desarrollo de una región afectando su calidad de vida, modificando el tiempo y espacio y modificando sus patrones culturales (Quesada, 2015). También, como se expuso en el capítulo uno las relaciones entre aumento de población y ocupación de lugares inadecuados para desarrollo urbano, Quesada (2015, p. 17) menciona que “esta problemática se asocia de manera directa con el desarrollo de tugurios y anillos de pobreza en zonas de alto riesgo en laderas y orillas de ríos susceptibles a inundaciones y deslizamientos”

Según Tucci (2007) una cuenca urbana posee superficies impermeables como tejados, calles y pisos lo que produce una alteración en la escorrentía a través de la canalización y del drenaje superficial generando un comportamiento diferente en el caudal ya que no es lo mismo un cauce natural a uno canalizado, se complica su manejo y en un ambiente urbanizado aumenta el caudal máximo, el escurrimiento superficial y la frecuencia de inundaciones crecientes pequeñas y medianas. Además, “el ambiente institucional de control de inundaciones en los países en desarrollo generalmente no lleva a una solución sustentable. Existen solamente pocas acciones aisladas de algunos pocos profesionales. En general la atención a las crecidas solamente realizada después de su ocurrencia. La tendencia está que el problema queda en el olvido después de cada crecida volviendo en la siguiente” (Tucci, 2007, p. 47).

Las medidas de control para las inundaciones según Tucci (2007) se clasifican como estructurales y no estructurales, siendo las primeras las que involucran modificaciones en el sistema fluvial a través de obras en la cuenca o en el río y las segundas involucran medidas como la zonificación, seguros contra inundaciones y medidas de protección individual;

dentro de las medidas estructurales se encuentran las extensivas que implican el aumento de la cobertura vegetal y el control de la erosión del suelo y; las medidas intensivas que se trabajan con el reservorio, diques, protección y restauración de humedales y modificaciones del río; ahora las medidas no estructurales tienen: sistema de pronóstico y alerta temprana, zonificación de áreas inundables, construcción a prueba de crecida y seguro de inundación las cuales que se resumen en la tabla 9:

Tabla 9. Medidas de control de las inundaciones

<i>Estructurales</i>	<i>No estructurales</i>	
<i>Extensivas</i>	Intensivas	Sistema de pronóstico y alerta temprana
<i>Cobertura vegetal</i>	Reservorio	Zonificación de áreas inundables
<i>Control de la erosión del suelo</i>	Diques	Construcción a prueba de crecida
	Modificaciones del cauce del río	Seguro de inundación

Fuente: Elaboración propia con base en: Tucci, 2007

Resultados: Inundaciones en la zona de estudio y aplicación del modelo.

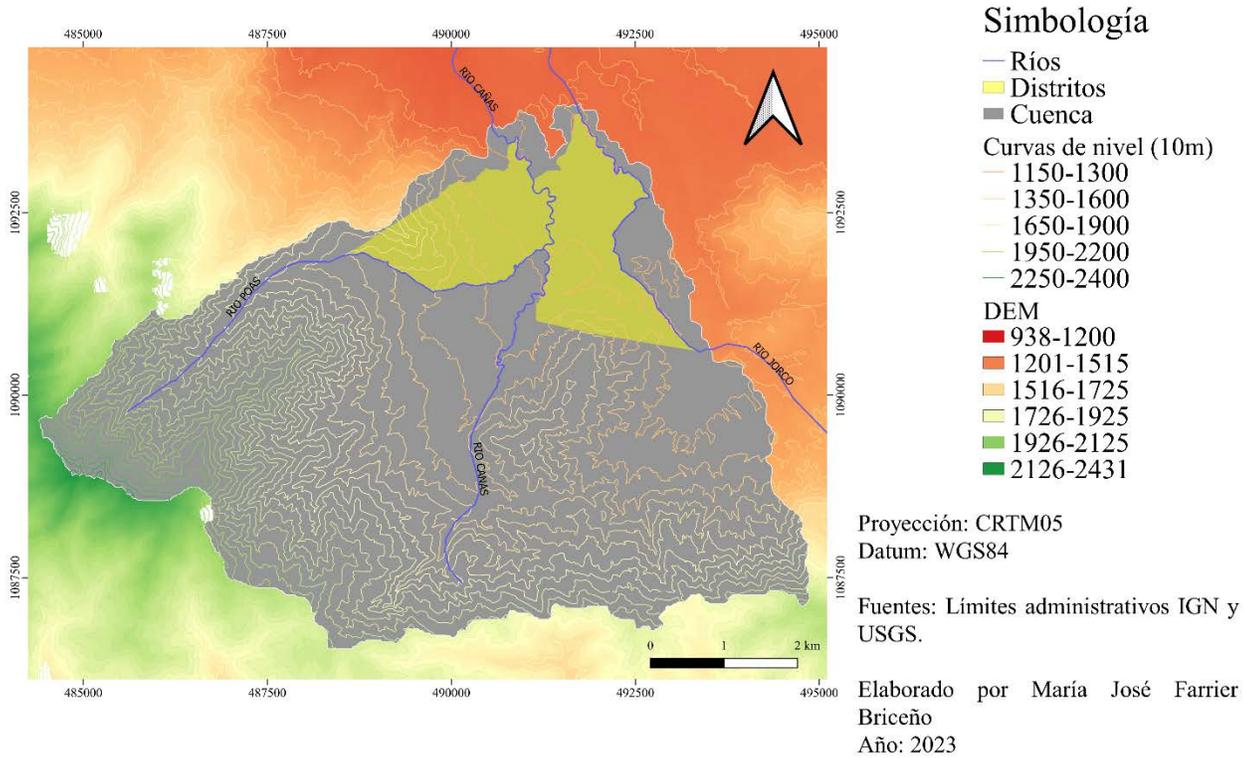
Breve introducción: Zona de estudio

En la presente sección se expone una descripción de la zona de estudio (que también es dato de entrada para el modelo), la configuración presente de la red de alcantarillado pluvial además de la red hídrica presente en la cuenca generada, esto es información que permite evaluar el posible grado de afectación ante inundaciones.

Se trabajará a nivel de cuenca ya que es necesaria como un mapa de área en la cual se agregan y resumen los resultados finales, en este caso debido a que el área de estudio se trabaja en una escala amplia se elaboró una cuenca que abarque la misma y los ríos presentes en ella (río Cañas, río Jorco y río Poás) ya que a nivel nacional / regional la cuenca es la del río Grande de Tárcoles, la cual drena hacia la vertiente del pacífico y dentro de esta Desamparados ocupa 119,42 km² (Rojas, 2011). Específicamente se trabajó en conjunto con las microcuencas del río Cañas y río Jorco, el río Poás es un afluente del Cañas, estos nacen en las partes altas de la Aserrí, luego se unen como afluentes para el río Tiribí y posteriormente al Grande de Tárcoles (Rojas, 2011). Para la obtención de este resultado se siguieron procesos automáticos de GRASS a partir de un DEM obtenido del servicio USGS, EarthExplorer de la National Aeronautics and Space Administration (NASA). En el mapa 7 es posible apreciar el resultado final, en el cual se destaca que los ríos corren de norte a sur y que los distritos se encuentran en la zona de más bajo nivel, recibiendo gran cantidad de agua durante una posible inundación.

Mapa 7. Cuenca para el área de estudio.

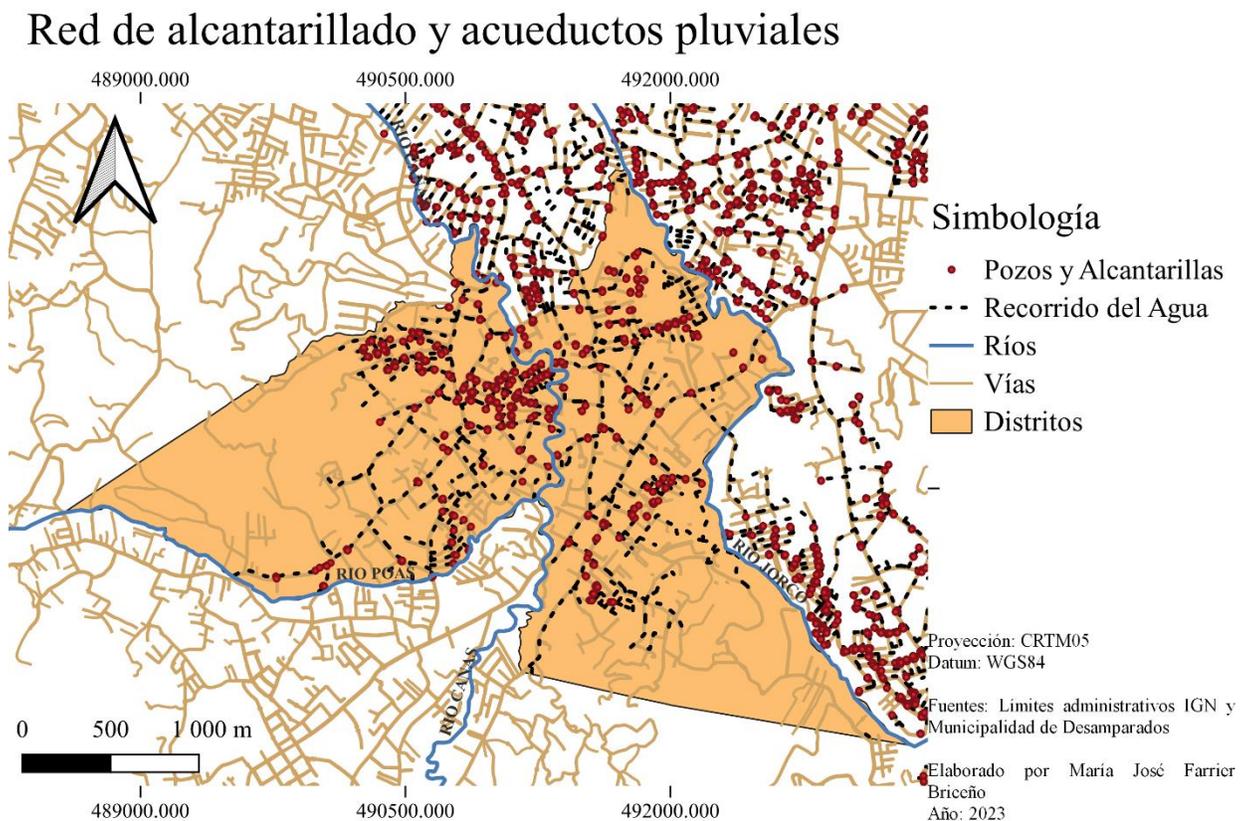
Cuenca para el área de estudio



Configuración de la red de alcantarillado

El mapa 8 muestra el recorrido del agua a nivel de la zona de estudio y la localización de las alcantarillas o acueductos pluviales presentes. Los datos fueron proporcionados por el Departamento de Planificación Territorial de la Municipalidad de Desamparados.

Mapa 8. Red de alcantarillado y acueductos pluviales presentes en la zona de estudio



Hay que destacar que el recorrido del agua es sumamente similar al de las vías exponiéndose así a actividad humana y generando susceptibilidad de las alcantarillas a la acumulación de contaminación lo que eventualmente interfiere el paso libre del agua y sumado a la esorrentía se convierte en inundación ya que se encuentran en las cercanías e inclusive atraviesas los ríos Cañas y Jorco. Según Gutiérrez (2014) “el desarrollo urbano altera de manera importante la hidrología de las cuencas donde se origina. En particular, se modifican la red de drenaje y el proceso de transformación lluvia esorrentía. Como consecuencia de la

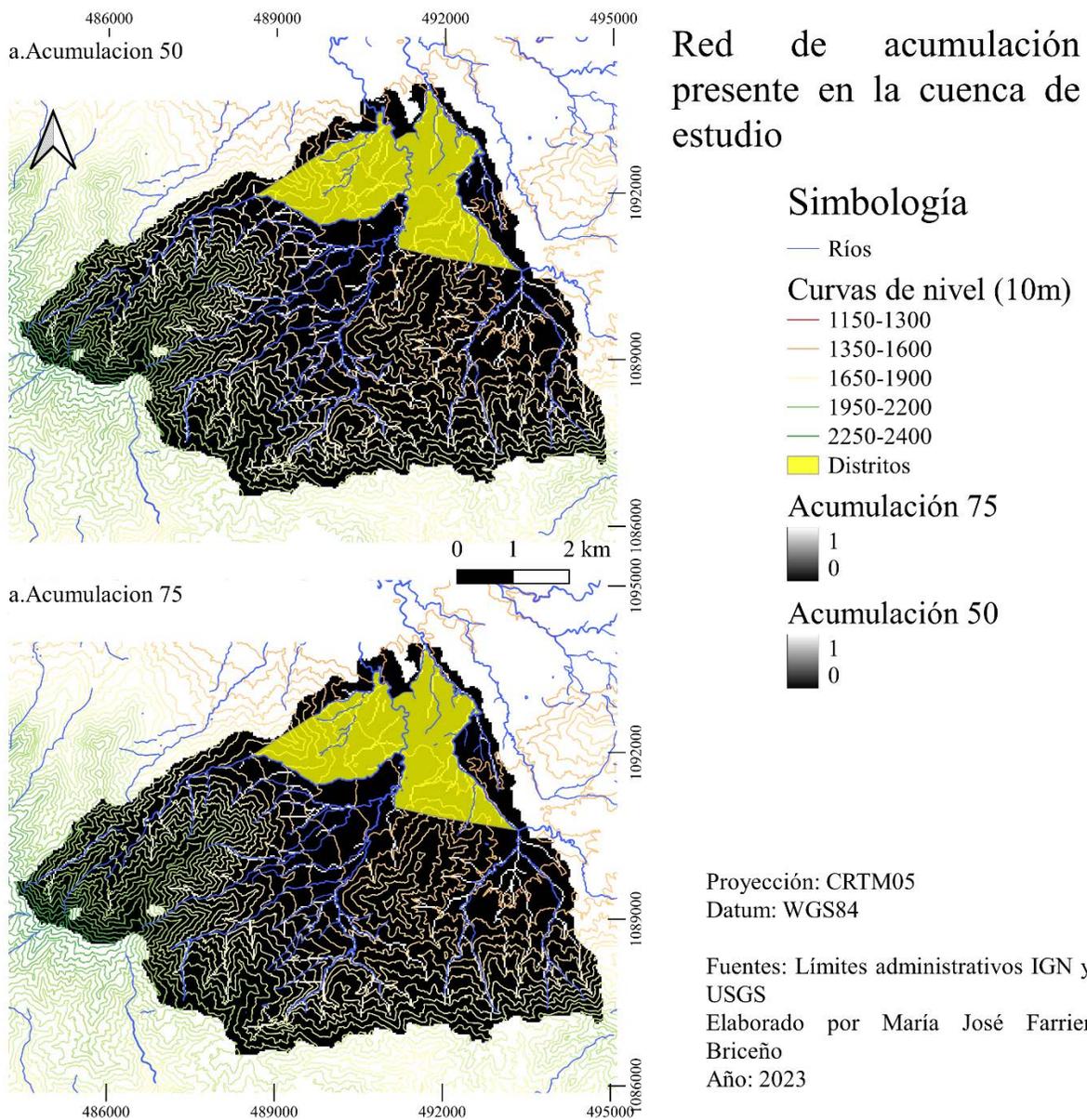
actividad urbanizadora, los cauces naturales que conforman la red hidrográfica original deben ser conservados y adecuados a las nuevas condiciones, esto para que no afecte de forma directa a su capacidad de desagüe y por tanto no se propicie la existencia de inundaciones” (p.1). Por lo que “el alcantarillado pluvial tiene como su principal función el manejo, control y conducción adecuada de la escorrentía de las aguas de lluvia en forma separada de las aguas residuales. Y llevarla o dejarla en sitios donde no provoquen daños e inconvenientes a los habitantes de las ciudades” (Gutiérrez, 2014, p. 2). La mayoría de las alcantarillas pluviales presentes son subterráneas y efectivamente recogen aguas directamente de las cunetas de vías públicas y desagües de edificios, estas aguas por lo general traen contaminantes principalmente residuos sólidos y hojarasca que a la larga se convierten en el principal causante de obstrucción de alcantarillas generando inundaciones (Solano, 2011). Debido a características que difieren entre los cauces de ríos y alcantarillas como propiedades físicas, deterioro y procesos de tratamiento es que se construyen sistemas de alcantarillado por aparte, en este caso un sistema artificial tampoco tiene las mismas características que un río por ejemplo la rugosidad; haciendo que la escorrentía de acelere y aumente la velocidad del flujo lo cual agrava las posibles inundaciones (Gutiérrez, 2014).

Si esto se combina con la dirección de los cauces y la elevación presentada anteriormente es una variable más que se suma a la generación de inundaciones ya que es posible analizar que todo converge en la parte baja de los distritos, la densidad urbana, la densidad de las alcantarillas y la contaminación.

Red Hídrica

En el proceso de generación de cuenca se generó también la red hídrica de la misma, específicamente se analiza el parámetro de acumulación con valores de 50 y 75, esto indica el volumen de agua presente en determinado trayecto del cauce según la dirección que esté presente acorde a la topografía. A menor valor mayor es la densidad de la red de acumulación y como se aprecia en el mapa 9a son cauces pequeños que no necesariamente siempre van a tener caudal, pero que si existen y dado caso que se saturan podrían tener mayor acumulación que se dirige al cauce principal y causar un desbordamiento; mientras que para el mapa 9b disminuye la densidad. En general los valores 1 son los que representan la red de acumulación en la cuenca.

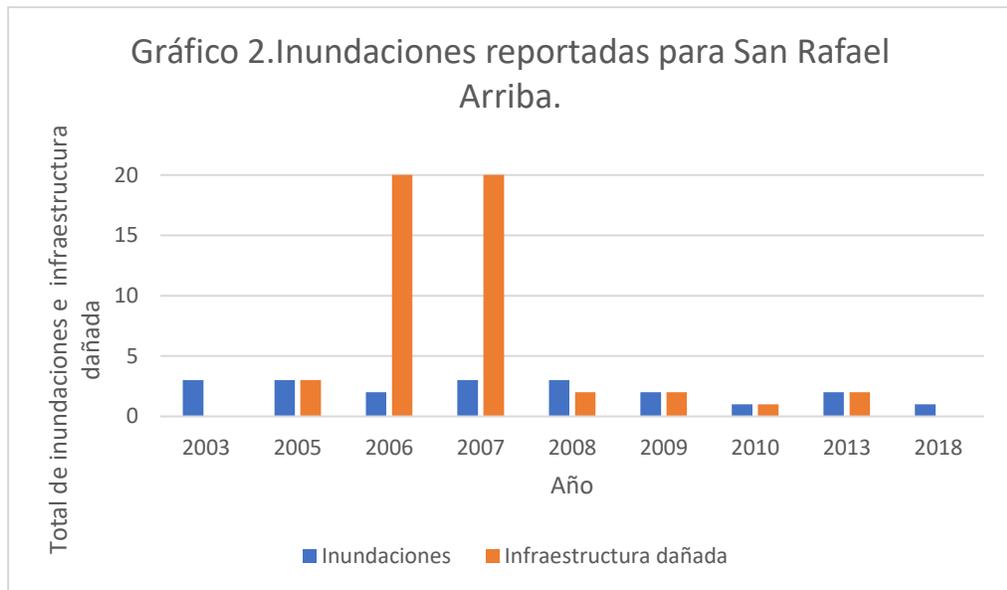
Mapa 9. Red de acumulación presente en la cuenca de estudio.



Reporte de inundaciones según DesInventar

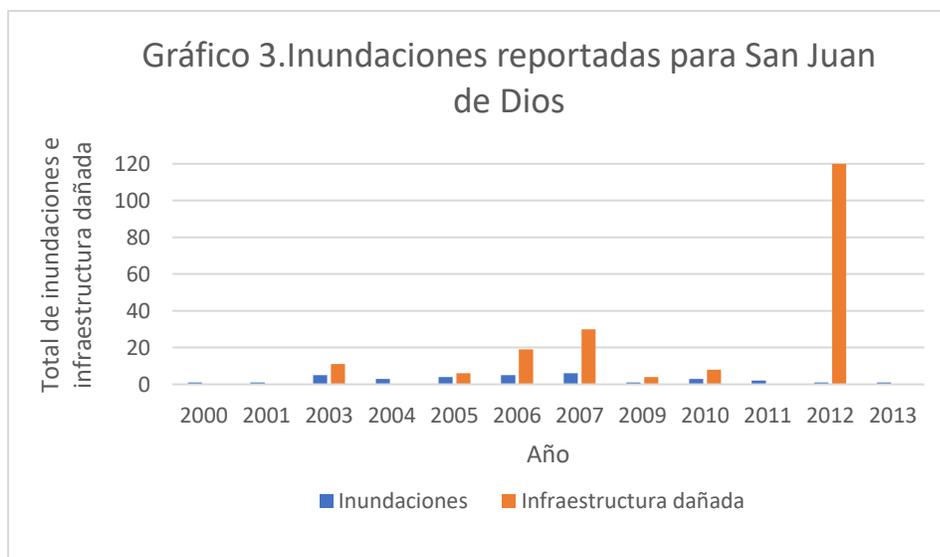
Los gráficos 2 y 3 muestran la frecuencia de inundaciones ocurridas durante el periodo de estudio para ambos distritos de estudio:

Gráfico 2. Inundaciones en San Rafael Arriba



Fuente: Elaboración propia con base en: DesInventar, 2020

Gráfico 3. Inundaciones en San Juan de Dios



Fuente: Elaboración propia con base en: DesInventar, 2020

La causa más recurrente para el distrito de San Rafael Arriba fue el desbordamiento del río Cañas y de acequias mientras que el total de afectados directos fue de 220; en la mayoría de los eventos siempre hubo infraestructura dañada; para el caso de San Juan de Dios de igual manera se atribuyen a desbordamiento del río Cañas y al desbordamiento de acequia y el total de afectados directos reportado fue de 221 y el daño de infraestructura se concentró más en el año 2012. En general, del total de eventos para el distrito de San Rafael Arriba 5 fueron causados por desbordamientos de río, principalmente el Cañas y 15 fueron causados por exceso de lluvia mientras que para el distrito de San Juan de Dios la mayoría de los eventos (30) fueron por exceso de lluvia y los tres restantes por desbordamiento (DesIventar, 2020). Sin embargo, al analizar la red de alcantarillado expuesta anteriormente se podría deducir que el diseño no es el más óptimo contribuyendo así a la generación de inundaciones además de presentar posibles problemas de drenaje. El distrito más afectado a nivel de infraestructura durante el período de estudio fue San Juan de Dios y el que más presentó eventos San Rafael Arriba.

Modelo: Urban flood risk mitigation – Natural Capital Project

Con base en Natural Capital Project (s.f.) la producción de escorrentía se estima por cada píxel definido por un tipo de uso de la tierra con el método de número de curva con la siguiente fórmula general:

$$Q_{p,i} = \frac{(P - \lambda S_{max,i})^2}{P + (1 - \lambda) S_{max,i}} \quad (1)$$

Dónde:

- Q = Escorrentía (mm)
- P = precipitación en mm
- $S_{max,i}$ = retención potencial en mm
- $\lambda S_{max,i}$ = profundidad de lluvia necesaria para iniciar la escorrentía
- S_{max} = Función del número de curva

Primeramente, el modelo calcula el S_{max} y luego calcula la retención de escorrentía como:

$$R_i = 1 - \frac{Q_{p,i}}{P} \quad (2)$$

Y para el volumen este mismo resultado solo lo multiplica por el área del píxel y por el factor de conversión a $\text{mm } 10^{-3}$ ya que las unidades deben ser convertidas de metros cuadrados a metros cúbicos para una mejor comprensión al momento de analizar la totalidad de un área.

Datos de entrada necesarios:

Cuenca (en formato vector): ver página 73: Breve introducción zona de estudio

Profundidad de la lluvia en mm

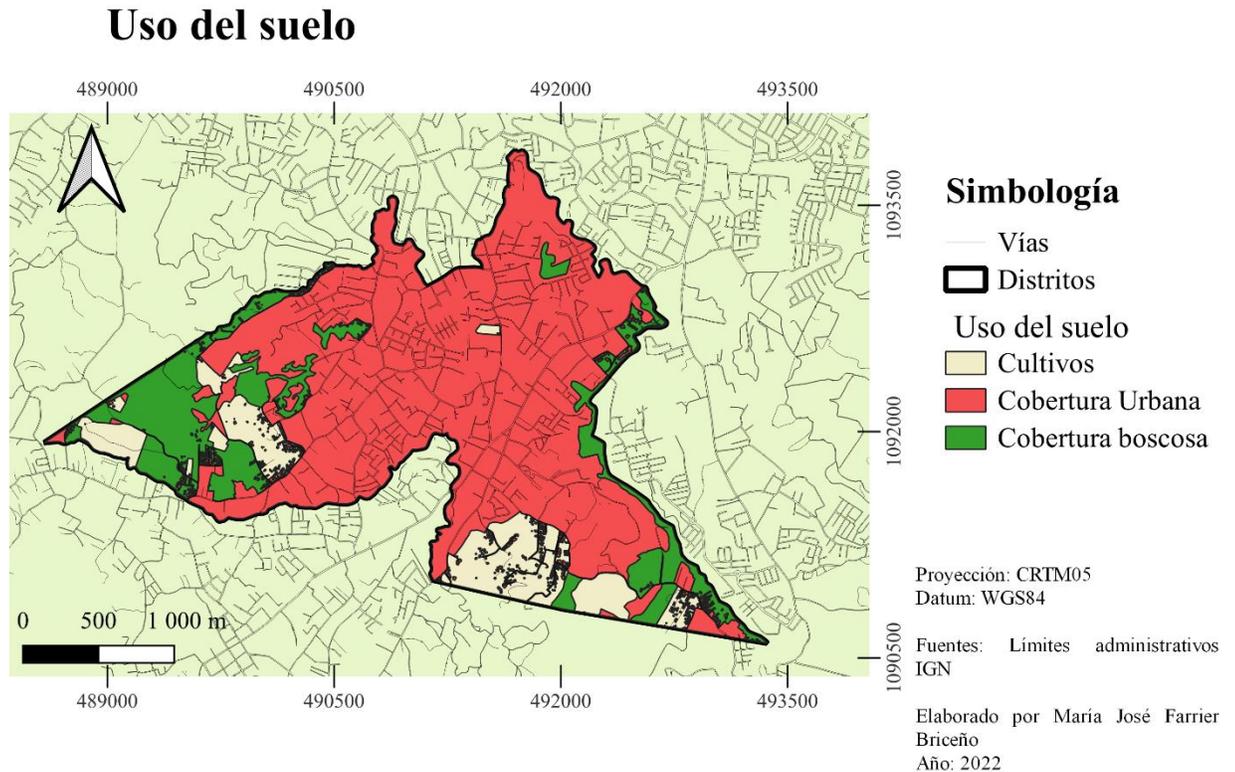
Para este dato se usaron los datos de precipitación brindados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) de las estaciones meteorológicas ubicadas en San Rafael Arriba y en Cerro Burío Aserrí, los datos fueron proporcionados en formato horario, mensual y anual, el modelo necesita un dato numérico de diseño de tormenta el cual se elige a criterio del usuario según lo que se requiera presentar; es decir el usuario define la tormenta ya sea anual, mensual u horaria, en este caso dado que el periodo de estudio es mayormente anual, que las inundaciones en su mayoría tienen recurrencia mensual y el formato de los datos (ha días que el registro es 0mm) se eligió un diseño de promedio de tormenta mensual cuyo resultado es: **144,64 mm** abarcando así más cantidad de datos.

Cobertura del uso de la tierra (en formato ráster)

Para el programa es necesario realizar una categorización de coberturas a las cuales se les asigna un código entero que es un dato base para el cálculo matemático que realiza el modelo, específicamente este parámetro describe las propiedades físicas del suelo y cómo es utilizado por la población. A partir de la bibliografía recomendada donde se encuentran las categorías estándar con sus respectivos códigos se obtienen 3 tipos presentes en la cuenca: 1. Urbano y edificaciones, 2. cultivos y 3. bosque con cobertura parcial, para las cuales los códigos enteros serían: 13,11 y 6 (Natural Capital Project, s.f.). Estos valores deben verse reflejados en las bandas del archivo ráster que también es base para el cálculo matemático del modelo.

Para la obtención de este resultado se utilizaron los datos cartográficos del SNIT, el mapa 10 muestra el resultado:

Mapa 10. Cobertura del uso del suelo.



En cuanto a los colores, para que coincida con la línea que se ha venido trabajando, la cobertura urbana se muestra en rojo ya que en los mapas de cobertura urbana presentados en el capítulo 1 esta era roja, de igual manera en ese capítulo se trabajó la cobertura con color verde, en este caso el verde también representa la cobertura boscosa y los cultivos en color crema.

Tabla biofísica

Tabla con número de curva (CN) para cada clase de uso de suelo, deben ser los mismos que se le asignaron al ráster (13,11 y 6), es decir, cada clase debe tener una entrada correspondiente según la clase de cobertura y de suelo. En el caso del tipo de suelo al ser un área muy regional todos los suelos se categorizaron con 4 como se mencionó anteriormente y en el caso de los usos de suelo se tomaron de la bibliografía recomendada (United States Department of Agriculture, 2004).

Específicamente el método del número de curva SCS es un modelo empírico ampliamente utilizado y desarrollado por el Servicio de Conservación de suelos de Estados Unidos que calcula la escorrentía directa a través de un número hidrológico o de curva (CN) agregado en la cuenca, este número es un valor entre 0-100 según sea su capacidad de generar escorrentía superficial donde valores cercanos a 0 representan condiciones de permeabilidad muy alta y valores cercanos a 100 representan condiciones de impermeabilidad y depende de: el tipo hidrológico del suelo, uso de la tierra y condiciones previas de humedad (Natural Capital Project, 2012; Villegas, 2017). En palabras simples, la relación directa entre lluvia y escorrentía depende del CN las cuales el modelo usa específicamente para predecir la escorrentía por cada parcela de cobertura. Los CN por utilizar con base en United States Department of Agriculture (2004) fueron para: cultivos en hileras, cobertura parcial contorneada y distritos residenciales, la tabla 10 muestra el resultado:

Tabla 10. Número de curva para los tipos de usos de suelo

<i>lu_code</i>	<i>Descripción</i>	<i>Tipo NEH (para definir CN)</i>	<i>CN_A</i>	<i>CN_B</i>	<i>CN_C</i>	<i>CN_D</i>
11	Cultivos	Cultivo en fila	72	81	88	91
13	Urbano	Distritos residenciales	77	85	90	92
6	Bosque	Cobertura parcial	25	59	75	83

Fuente: Elaboración propia con base en Unites States Department of Agriculture, 2004.

Grupo hidrológico del suelo

“El grupo hidrológico del suelo describe el potencial de escorrentía en diferentes tipos del suelo. Hay 4 grupos. A, B, C, D dónde A tiene el menor potencial de escorrentía y D tiene el menor. Para el uso del modelo estos valores deben traducirse a valores numéricos (1, 2, 3, 4)” (Natural Capital Project, s.f.). En el estudio de Amador et al (2018) donde su resultado fue el Excel de calicatas justamente hay una en el distrito de San Rafael Arriba, luego de comparar los parámetros de clasificación de suelos tanto para los datos obtenidos como con la información de la bibliografía recomendada (United States of Agriculture, 2007) se elige

que la zona de estudio será categoría D o 4 ya que: por lo general tiene más de 40% de arcilla y menos del 50% de arenas, teniendo así textura arcillosa lo cual se evidencia en la tabla 11:

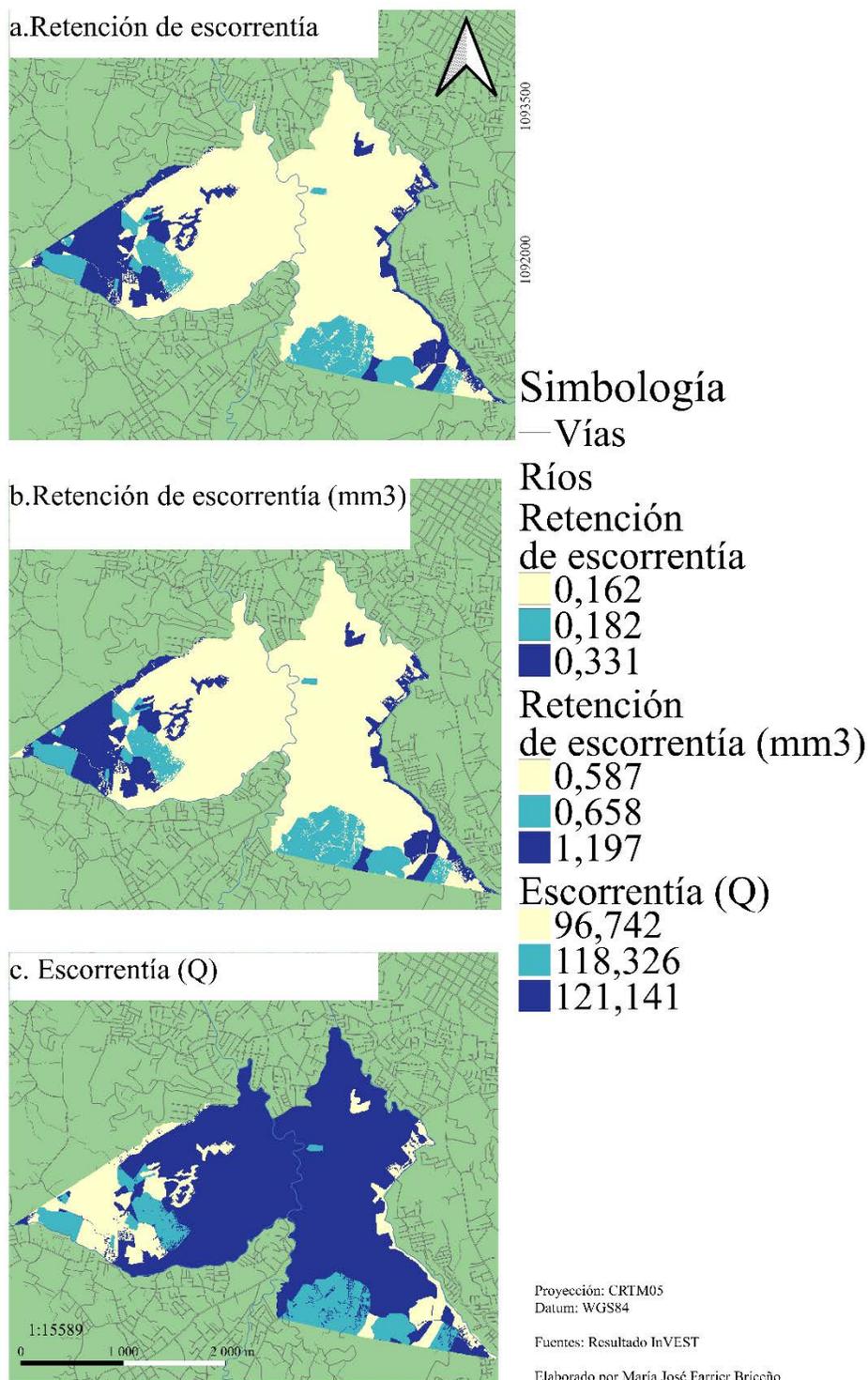
Tabla 11. Variables reportadas para el tipo de suelo

<i>ID_Calicata</i>	<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>	<i>Ubicación Político-Administrativa</i>			<i>%</i>			<i>Clase Textural</i>
			<i>Provincia</i>	<i>Cantón</i>	<i>Distrito</i>	<i>Arena</i>	<i>Arcilla</i>	<i>Limo</i>	
1592	- 84,07617	9,86773	San José	Desamparados	San Rafael Arriba	30,0	28,0	42,0	Arcilloso
1592	- 84,07617	9,86773	San José	Desamparados	San Rafael Arriba	20,0	13,0	67,0	Arcilloso
1592	- 84,07617	9,86773	San José	Desamparados	San Rafael Arriba	32,0	13,0	55,0	Arcilloso
1592	- 84,07617	9,86773	San José	Desamparados	San Rafael Arriba	25,0	13,0	62,0	Arcilloso
1592	- 84,07617	9,86773	San José	Desamparados	San Rafael Arriba	15,0	8,0	77,0	Arcilloso

Fuente: Elaboración propia con base en Amador et al, s.f

Los siguientes son los resultados del modelo:

Mapa 11. Resultados generados por el modelo



El mapa 11a muestra la fracción de volumen de escorrentía retenido con respecto al total de precipitación. Como se puede observar en la ecuación 2 la relación sería inversamente proporcional es decir a mayor intensidad de lluvia menor retención de escorrentía lo cual se evidencia en la figura 3a. También según la ecuación 2 es el total del volumen de agua retenido incluyendo infiltración, evapotranspiración y retención el valor menor abarca la zona urbana siendo esta el área de menor retención de escorrentía y por ende con mayor potencial de generar inundación, la categoría que sigue son los cultivos y por último el área con bosque tendría mayor retención de escorrentía. (Natural Capital Project, s.f.).

En el caso del mapa 11b es igual que la anterior, pero convertido por el área del píxel (30x30) lo que indicaría el volumen total por píxel y posteriormente convertido a mm^3 , el cálculo sería el volumen que resulta de la ecuación 2 y de igual manera muestra una relación inversamente proporcional y la zona urbana sería la de menor retención de escorrentía, esta vez con un mayor volumen (Natural Capital Project, s.f.).

Por último, el mapa 11c presenta valores únicos de escorrentía calculados por medio de la ecuación 1 por unidad de píxel, aquí se evidencian resultados acordes a los dos previos, es decir, si la zona urbana tiene la menor retención de escorrentía, debe tener la mayor producción de escorrentía como lo muestran los valores resultantes, seguido de la categoría de cultivos y por último la de bosque con menor producción de escorrentía.

Adicionalmente para el área de la cuenca el modelo calcula un servicio de riesgo de inundaciones, el cual se muestra en la tabla 12:

Tabla 12. Datos de servicio de riesgo de inundación.

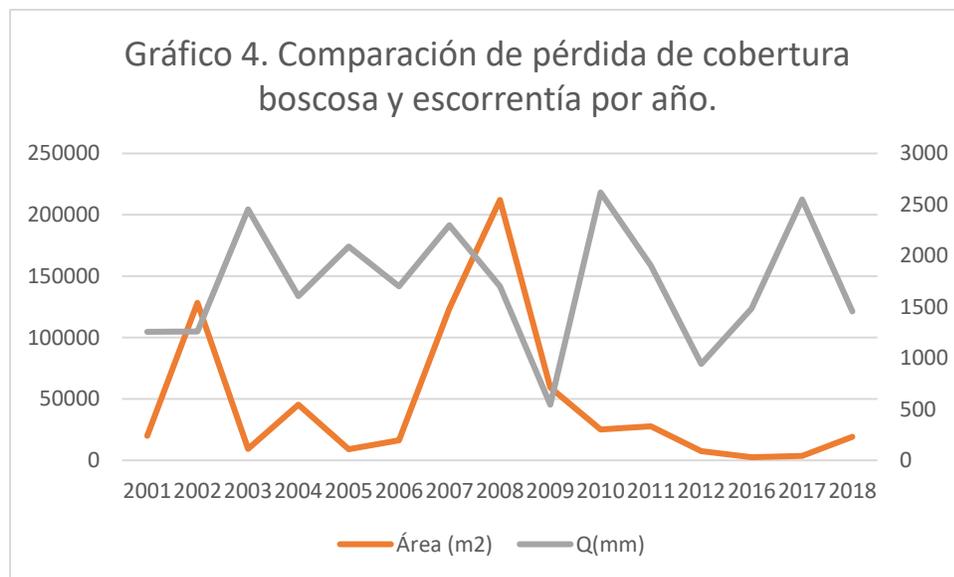
<i>Retención de escorrentía por cuenca (promedio)</i>	<i>Retención de escorrentía por cuenca (suma en mm^3)</i>	<i>Volumen de inundación en m^3 por cuenca</i>
0.192	169228	710194

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados de InVEST, 2022.

Se evidencia un volumen de inundación bastante grande, también considerando que la cuenca resultante como se había mencionado fue la unión de 2 microcuencas y la acumulación de caudal generada en esta es evidente desde valores de 50m^3 por lo que tiene potencial de generar inundaciones bajo condiciones de alta precipitación que genera también altos valores de escorrentía.

Para hacer referencia a la relación entre pérdida de cobertura boscosa e inundaciones se generó escorrentía por medio del modelo para cada año del periodo de estudio y se trabajó específicamente con el dato de riesgo de inundación por cuenca y con los resultados de pérdida de cobertura boscosa generados en el primer capítulo obteniendo así una relación en formato anual, los años que no se muestran es porque no hubo pérdida de cobertura boscosa. El gráfico muestra el resultado:

Gráfico 4. Comparación de pérdida de cobertura boscosa y escorrentía por año

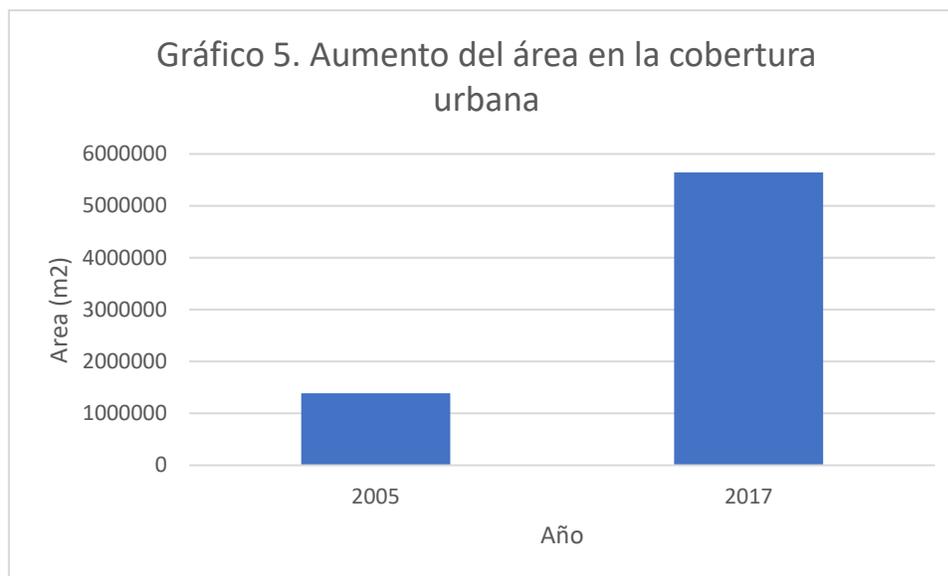


Fuente: Elaboración propia con resultados del capítulo 1 y de InVEST, 2022.

La comparación entre ambas variables arroja que, si bien no se encuentran estrechamente relacionadas el comportamiento en general sigue la misma tendencia. Ahora esto es con escorrentía directamente y para que esta como tal genere inundación va a depender como se ha mencionado antes de la configuración de la red de alcantarillado y su capacidad de drenar las aguas que escurren, de la cantidad de caudal que pueden soportar los cauces, del tipo de

suelo y la saturación de estos y de la impermeabilización presente, en cuanto a la impermeabilización de los resultados del capítulo 1 se obtuvo el área de cobertura urbana para los años 2005 y 2017, los mismos se representan en el grafico 5 a continuación:

Gráfico 5. Aumento del área de la cobertura urbana



Fuente: Elaboración propia con resultados del capítulo 1.

A partir del análisis de los 2 gráficos anteriores es posible generar la siguiente premisa: si bien la pérdida de cobertura boscosa se ha mantenido estable a partir del año 2010 es debido a que ya no hay más cobertura boscosa que eliminar, por el contrario, solo sigue en aumento la cobertura urbana y por ende la impermeabilización de suelos y la generación de escorrentía; los resultados obtenidos de la misma son bastante altos y la mayor generación se da en la zona urbana, seguido de la zona cultivada y por último en el bosque es como es de esperar, por lo tanto; el comportamiento en general de todas las variables sugiere la generación de inundaciones.

La exposición de la información analizada en este capítulo muestra efectivamente que el área de estudio tiene recurrencia alta de inundaciones y que estas provocan afectaciones tanto económicas como sociales y ambientales; sin embargo, una inundación no depende únicamente de la cantidad de cobertura boscosa, también de la configuración urbana como red de alcantarillado, en este caso donde el diseño de red no es acorde, según Lavell (2003)

una red de alcantarillado mal diseñada se considera una amenaza que potencia eventos, aunado a esto si bien la relación entre ambas variables resulto baja, el valor del resultado de escorrentía brinda datos interesantes a tomar en cuenta en análisis generación de inundaciones.

XI. CAPÍTULO 3: ZONIFICACION COMO HERRAMIENTA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARA REDUCIR EFECTOS DE INUNDACIONES

Ordenamiento Territorial y gestión del riesgo

Dicho concepto ha ido evolucionando e implementando nuevas herramientas y metodologías como cambios en los esquemas de regulación para mejorar el alcance de los planes, cambios en las escalas y mejoramientos en la participación de otros sectores además del Estado. Montes Lira (2001, p. 12) define el ordenamiento territorial como “organización de las actividades humanas sobre el territorio. Se vincula y adquiere en algunos casos una connotación ambiental. Esto debido a un enfoque conceptual y metodológico que se centra en una adaptación a un contexto geográfico y cultural particular.”

Según Contreras (2018) algunas de las herramientas del OT o bien instrumentos de planificación territorial son:

- Plan de Ordenamiento Territorial
- Plan de Desarrollo Urbano
- Plan regulador intercomunal o metropolitano
- Plan regulador comunal
- Plan regulador costero
- Plan seccional
- Límite Urbano

Esta diversidad de instrumentos permite que existan diferentes tipos de ordenamiento territorial, en el caso de Costa Rica, la Política Nacional vigente de Ordenamiento Territorial se define como: “es la expresión espacial de las políticas sociales, ambientales y económicas. Es también un ejercicio administrativo y una política de Estado, basada en la toma de decisiones coordinadas y articuladas, con el fin de garantizar un desarrollo adecuado de los asentamientos humanos, la gestión integral de los recursos naturales y el desarrollo económico en el territorio” (Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos, 2012, p. 11).

Ahora bien, la gestión de riesgo puede utilizarse como un marco general en que el ordenamiento territorial se organice, junto con otros elementos para mitigar las inundaciones. Para entender dicho marco es necesario primero entender la definición de **desastre** ya que el contexto en el que surge la gestión del riesgo es como opción integral de intervención ante un desastre. Un desastre “es finalmente la concreción de un riesgo, una realización de determinados niveles de riesgo en la sociedad, en que el evento físico sirve de detonador, pero no es la causa única que le da origen” (Lavell, 2003, p. 14).

Entonces, desde la década de los noventa la temática del riesgo e intervenciones de desastres tomo mayor importancia y se involucra más en los niveles locales. Surgió la necesidad de considerar la relación existente entre la degradación ambiental y las condiciones de riesgo de desastre, así con el paso del tiempo y el mayor desarrollo conceptual entorno al riesgo, prevención y mitigación de desastres pasaron a ser tomados en cuenta más estructuralmente (Lavell, 2003). Se debe exponer también qué se entiende por riesgo de desastre: “la probabilidad de daños y pérdidas futuras asociadas con el impacto de un evento físico externo sobre una sociedad vulnerable, donde la magnitud y extensión de estos son tales que exceden la capacidad de la sociedad afectada para recibir el impacto y sus efectos y recuperarse autónomamente de ellos” (Lavell, 2003, p. 17).

Finalmente, puede considerarse que la **gestión del riesgo** “es un proceso social complejo cuyo fin último es la reducción o la previsión y control permanente del riesgo de desastre en la sociedad, en consonancia con, e integrada al logro de pautas de desarrollo humano, económico, ambiental y territorial, sostenibles”(Lavell, 2003, p. 26). Esta, aplicada a ambientes urbanos locales constituye una opción integral de intervención para los desastres asociados con pérdidas y daños humanos que han aumentado en los últimos años, dado que conforme aumenta la población, infraestructura y producción ubicada en zonas expuestas aumenta también el conocimiento y monitoreo de los desastres y su relación con las prácticas humanas inadecuadas dónde el desarrollo de las mismas puede explicar la vulnerabilidad, más allá de solo un impacto negativo producto del desastre (Lavell, 2003).

La gestión del riesgo se construye a partir de las relaciones entre desarrollo y riesgo, entendiendo este último como la probabilidad de daños y pérdidas asociadas con el evento físico. Y la gestión del riesgo un proceso que comprende cuatro fases de mayor importancia,

inicialmente una dimensión objetiva del riesgo y entendimiento de los procesos y actores sociales que contribuyen a su concepción, seguido de una valoración del riesgo en el contexto, la postulación de políticas públicas y estrategias de intervención en la toma de decisiones para finalmente la fase de implementación de las estrategias (Lavell, 2003).

Implica la necesidad de preliminares de definición de actores y determinación de equipos y procesos, comprensión del entorno y características propias locales, construcción de escenarios de amenazas y riesgos, determinación de objetivos, políticas y programas, la creación de estructuras y planes de agenda para finalizar con la ejecución de los programas y proyectos previamente definidos (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2012).

Gestión del riesgo nacional y en la zona de estudio

El marco normativo en materia de Ordenamiento Territorial en el país es bastante diverso y se encuentra a cargo de diferentes instituciones del Estado y en diferentes escalas de planificación. Este marco ha evolucionado a través de los años. El primer antecedente en la legislación es la división política administrativa del territorio seguido de la Ley de Planificación Urbana, la Ley Orgánica del Ambiente (Martínez, 2014). Así mismo la transformación del uso del suelo en el Valle Central durante 1985-2015 reguló con la implementación del Plan GAM en 1982 (que entre otros instrumentos definía un anillo de contención y una zonificación industrial), Ley de Zonas Francas, Ley Forestal y de Biodiversidad. Recientemente el Plan GAM 2013-2030 actualizó el anterior Plan GAM; a este se han agregado la Política Nacional de Ordenamiento Territorial (PNOT), algunos planes reguladores municipales y herramientas de monitoreo del cambio de uso y cobertura de la tierra (Martínez, 2014).

Si bien el marco legal es robusto, el PEN considera que “Costa Rica no tiene un marco legal suficientemente claro para el ordenamiento territorial, que determine con precisión y sin contradicciones las competencias y responsabilidades más importantes” (p.197). Aunado a eso se generan conflictos y traslapes entre las entidades afectando la capacidad de gestionar del Estado.

A nivel local la planificación territorial recae sobre los municipios por medio de Plan Regulador y leyes como la Ley Forestal, el Reglamento a la Ley de Uso, manejo y conservación de suelos, entre otras, pero, no todos los municipios cuentan con esta herramienta y de los municipios que, si cuentan con plan regulador, muchos están incompletos (no cubren todo el territorio municipal) o están muy desactualizados.

La figura 7 muestra un resumen de los desafíos puntuales que coinciden con el periodo de estudio (hace casi 20 años) porque si bien actualmente ya existe el PNOT y demás, 20 años atrás se estaba iniciando con su implementación.

Figura 7. Desafíos a nivel de Ordenamiento Territorial



Fuente: Elaboración propia con base en Astorga, 2011

Específicamente en Desamparados según el Reglamento Municipal (2007) el plan regulador se empieza en el año 2006 y se implementa en el 2007 bajo tres ejes de acción: Sistema Urbano, Sistema Urbano Ambiental y Sistema Legal. Sus objetivos generales son:

- ❖ Identificar, clasificar y delimitar los distintos usos del suelo en el cantón de Desamparados.

- ❖ Promover alternativas viables para el desarrollo de un ordenamiento territorial responsable y planificado según el uso del suelo, aplicando la normativa que lo regula.
- ❖ Regular las actividades constructivas en zonas de alto riesgo aplicando los criterios técnicos y profesionales de especialistas en la materia.

En ese plan regulador la zonificación se define como “circunscripción territorial definida en el P.O.T. la cual es objeto de regulación específica en cuanto al uso que en ella se puede dar, previo establecimiento de requisitos urbanísticos y de construcción que se imponen a los edificios que se vayan a construir” (Reglamento Municipal, 2007. p.12).

En el periodo 2016-2020 uno de los principales retos del cantón mencionados en el Plan de Gobierno fue: “proteger y recuperar los recursos naturales del cantón: el cantón de Desamparados tiene una amplia riqueza hídrica. Cuenta con varias cuencas compartidas que riegan nuestro territorio. En el sector norte podemos encontrar los ríos Cañas, Cucubres, Jorco y Damas. En el sector sur el río Candelaria. Además, predomina el sistema montañoso que produce una gran cantidad de nacientes que necesitan ser protegidas” (Alcaldía Municipal de Desamparados, 2015, p. 12).

En cuanto a la atención de amenazas propiamente existe el Plan de prevención de riesgos y atención de emergencias del cantón de Desamparados el cual expone la situación actual del cantón y sus amenazas hidrometeorológicas. En este plan identifican varias quebradas o afluentes de los ríos Cañas y Jorco como expuestas a inundaciones y menciona que las principales causas de estas inundaciones son: 1. recarga de desechos sólidos, 2. viviendas cercanas a los ríos y desarrollo urbano sin una adecuada planificación y 3. falta de educación ambiental en la población (Municipalidad de Desamparados, 2016).

La amenaza presente para la cuenca del río Cañas abarca ambos distritos de estudio, específicamente en San Juan de Dios se mencionan los barrios: 1 de Mayo, Corazón de Jesús, Itaipú y Calabacitas y en San Rafael Arriba: La Guaria, Santa. Eduvijes, Maiquetía; para este último distrito también se cuenta amenaza por parte de la cuenca del río Jorco para el barrio Porosales (Municipalidad de Desamparados, 2016).

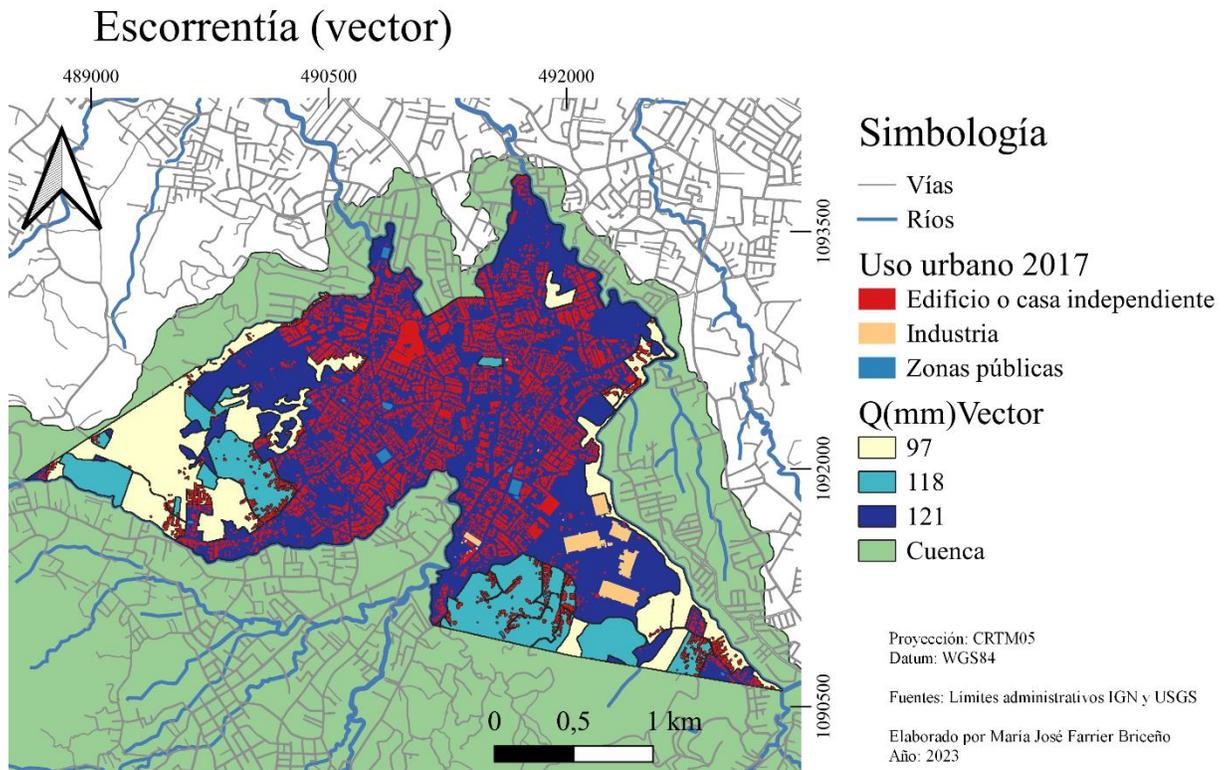
Por último, en dicho plan también se presenta el Comité Municipal de Emergencias y su estructura administrativa en donde una de sus funciones es: elaborar planes y proyectos que cubran sus actividades y las de los comités de emergencia a cargo y el marco de referencia en prevención y atención de emergencias se basa en el Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo, la Política Nacional de Gestión del Riesgo y el Reglamento a la Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo generando los siguientes ámbitos de gestión: reducción del riesgo, recuperación y preparativas y respuestas.

Delimitación de zonas con riesgo de inundación y herramienta de Ordenamiento Territorial

En esta sección a partir de la delimitación de zonas de riesgo a inundación se propone una actualización a la zonificación existente en el cantón y un análisis de por qué es pertinente realizar dicho cambio.

El insumo para este análisis es el resultado obtenido en el capítulo 2 sobre Q (escorrentía en formato vectorizado). Con base a la zona dónde se genera la mayor cantidad de escorrentía y dónde se acumula se delimitan sitios con riesgo de inundación. Dicha zona se categoriza con uso urbano y es atravesada por el río Cañas además de poseer una densa red de alcantarillado y de entradas de alcantarillas, el mapa 12 muestra el resultado de la escorrentía, al igual que en el mostrado en el capítulo 2 la mayor generación de esta se da en la zona categorizada como urbana (color azul) seguido de la zona de cultivos en color celeste y por último la zona con menor generación de escorrentía corresponde con la cobertura boscosa. Se agrega la categorización del uso urbano para contrastar que efectivamente donde se genera mayor escorrentía corresponde con la mayor presencia de cobertura urbana (color rojo) que en su mayoría es de uso residencial.

Mapa 12: Escorrentía (vector)



Cómo se mencionó esta imagen resulta de los valores de escorrentía generados por el modelo, la clasificación muestra los valores de esta, el mayor valor lo representa la categoría urbana con 121, seguido de la categoría de cultivos con 118 y por último la cobertura boscosa que genera menos, 97. Dicho resultado es más que evidente porque las zonas urbanas implican la impermeabilización de los suelos y al haber menos infiltración se genera más escorrentía (Salas Pérez et al., 2019; Sánchez Jorge, 2021).

Pero esta zona ya está urbanizada por lo tanto el problema de planificación va más allá del control urbano, se requiere de reglas para los desarrollos ya existentes como construcción de elementos en el espacio público para infiltrar agua como red de calles, pozos de infiltración y tanques de almacenamiento temporal de aguas pluviales; estas medidas contribuyen en que la escorrentía fluya más lento y no se acumule en los ríos causando desbordamientos o lagunas de retención (Gutiérrez, 2014). Esto requiere una inversión pública y de regulación

que implica una intersección entre ordenamiento territorial y financiamiento de obras con posibles contribuciones de valorización.

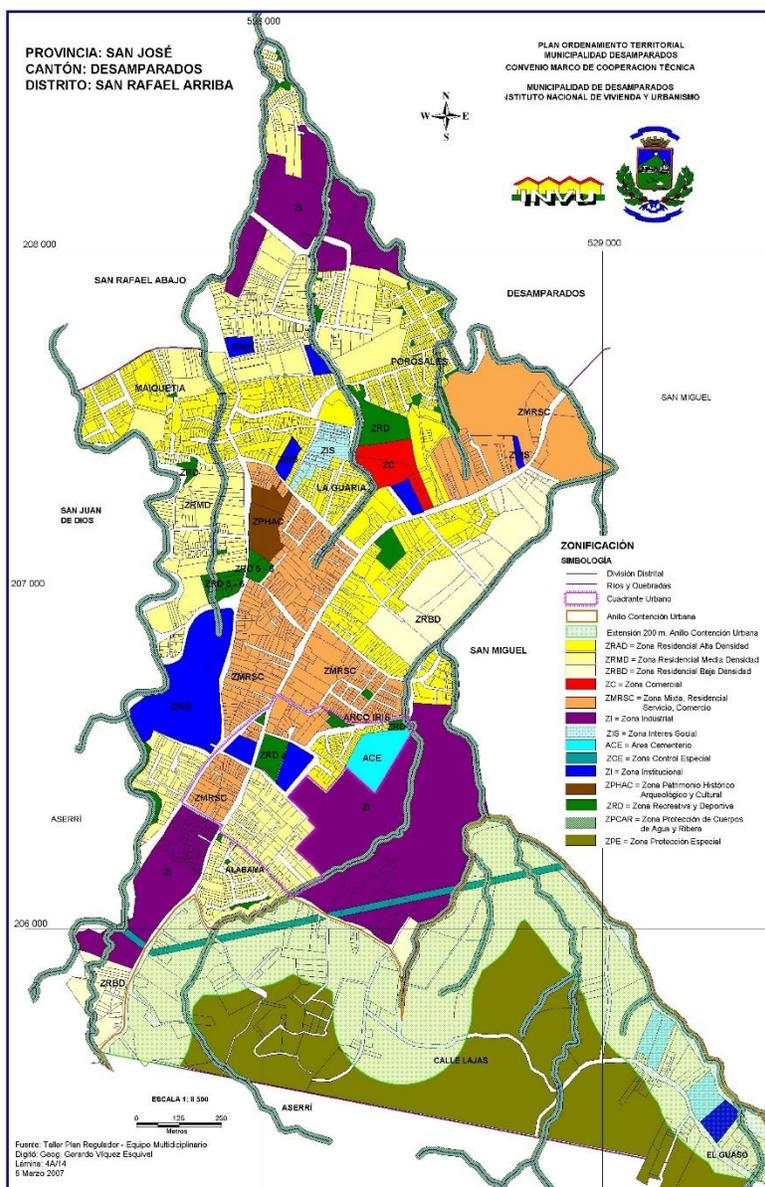
Además de la escorrentía se toma en consideración los Índices de Fragilidad Ambiental (IFAs) que según el Sistema Costarricense de Información Jurídica “se define como el balance total de carga ambiental de un espacio geográfico dado, que resume la condición de aptitud natural del mismo (biótica, geológica y de uso potencial del suelo), la condición de carga ambiental inducida y la capacidad de absorción de la carga ambiental adicional, vinculada a la demanda de recursos” (Decreto Ejecutivo, 2006).

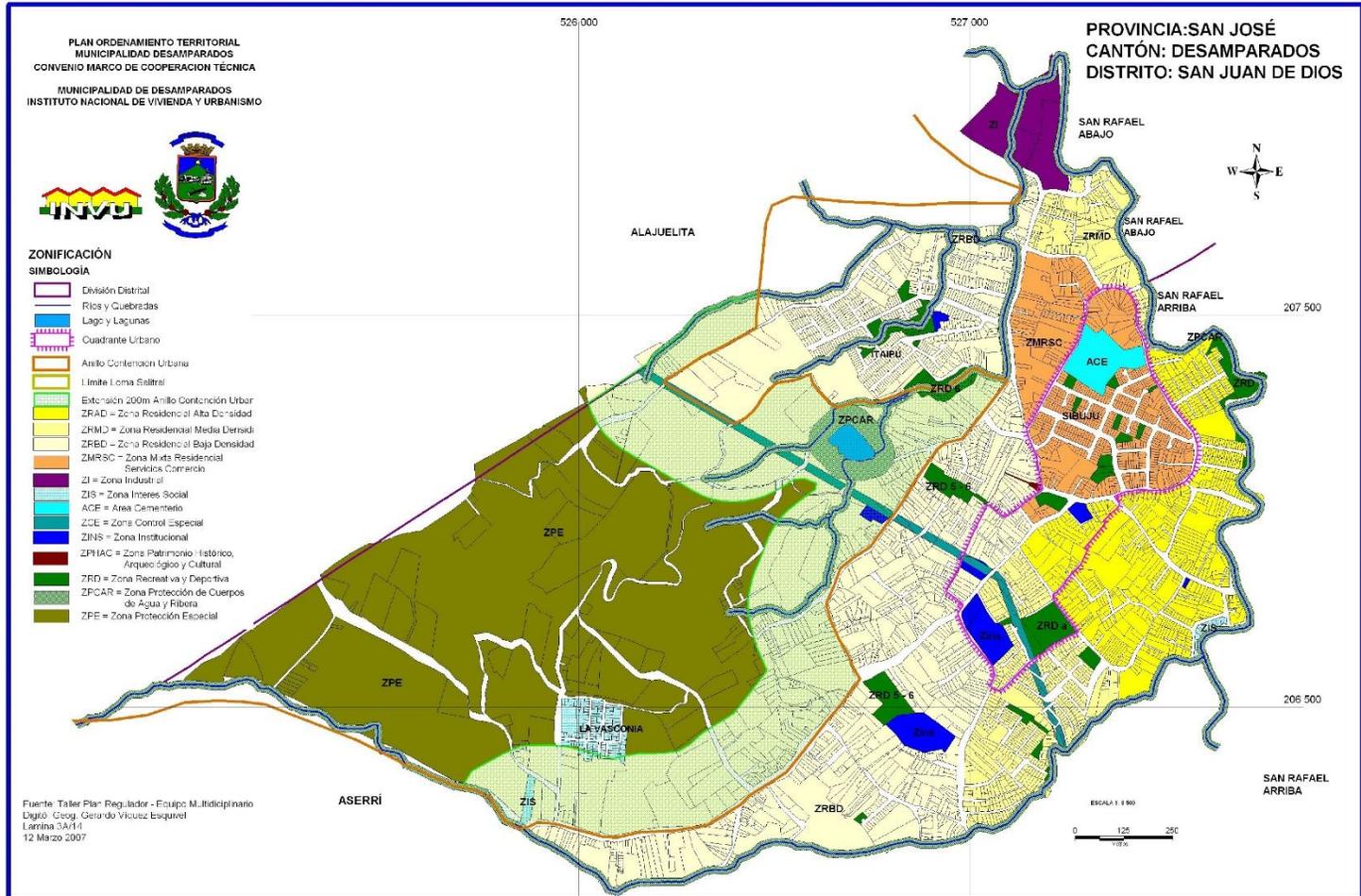
De esta manera dicha metodología se incorpora al Ordenamiento Territorial bajo 3 fases: 1. Creación de IFA, 2. Análisis de Alcance Ambiental y 3. Reglamento de Desarrollo Sostenible (Rodríguez, 2022). En la Ley Forestal respecto a áreas de protección de ríos se menciona que debe existir “una franja de quince metros en zona rural y de 10 metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de 50 metros horizontales si el terreno es quebrado (Ley: 7575, 1996). Sin embargo, en la práctica esta zona de protección se ha convertido en una zona donde se desarrollan asentamientos porque explícitamente la ley no prohíbe la construcción. La zonificación de sitios con riesgo de inundación se propone con base en ambos insumos (mapa de escorrentía e IFAs), actualmente la zonificación en Desamparados se realiza mediante el TITULO III del plan regulador con uno de los propósitos: “regular el crecimiento urbano del Cantón, para asegurarse que el uso del suelo sea empleado en adecuados usos en relación con su vocación, potencialidad o medio físico natural” (Municipalidad de Desamparados, 2007, p. 26).

En la propuesta actual para los distritos de estudio que se expone en la imagen 5 se observan varios sitios cercanos a ríos que si cumplen con la regla del margen de 10m de distancia al río, sin embargo se encuentran como “Zona de interés Social” ya que son asentamientos informales o bien del todo no cumplen con la regla de 10m, en el distrito San Juan de Dios se tiene el asentamiento “La fusilera”, parte de la Zona Residencial de alta densidad y el barrio Itaipú y en el distrito San Rafael Arriba: Maiquetía, partes de la Zona residencial de Alta Densidad y Zona de Interés Social.

La herramienta de ordenamiento territorial propuesta es una actualización a la zonificación existente específicamente en las cercanías de los ríos ya que es confuso y los polígonos se interponen y, más allá de solo categorizar las zonas de acuerdo con la densidad poblacional crear una capa específica para sitios de riesgo y crear una simbología exclusiva para esta porque no existe.

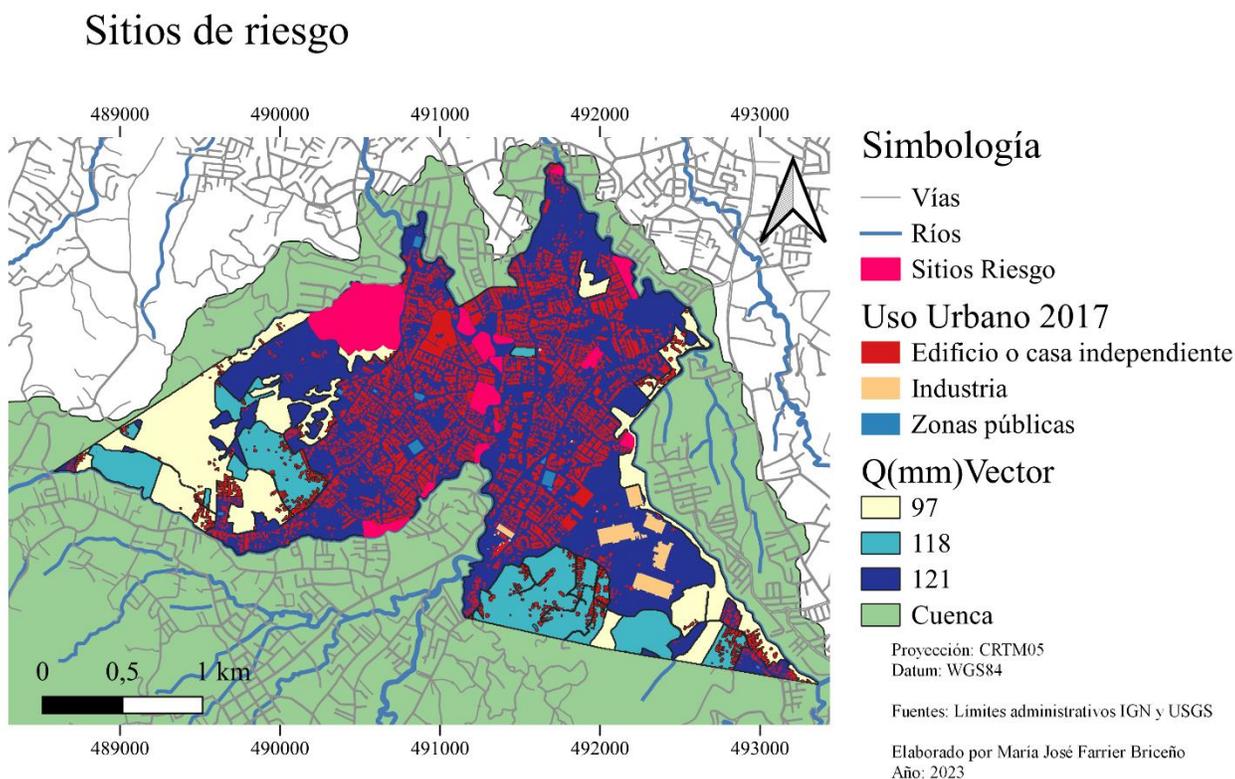
Imagen 5. Zonificación del plan regulador de Desamparados





El mapa 13 a continuación muestra las zonas delimitadas:

Mapa 13: Sitios de riesgo



Los sitios delimitados en color fucsia indican los sitios de riesgo y se delimitaron a partir de la exposición y / o cercanía con los cauces del río, estas también fueron expuestas en el plan de atención de emergencias de la municipalidad, además de por supuesto encontrarse en zona urbana que genera mayor cantidad de escorrentía (121) que puede convertirse en inundación y de coincidir de igual manera con zonas de riesgo en el IFA de inundaciones; se destaca también que en la categoría cultivos el valor de escorrentía es menor (118) y en cobertura boscosa igual (97) por lo que en esas no se delimitan sitios de riesgo.

Se aprecia que a lo largo del río Cañas se identificaron la mayor cantidad de sitios de riesgo y que también algunos de estos se encuentran identificados en el plan de atención de emergencias además del reporte por distritos de Desinventar. En esta zona también se identifican varias rutas de la red de alcantarillado por lo que una eventual saturación de estas a causa de exceso de escorrentía contribuiría a la generación de inundaciones. También estas

zonas tienen tamaños pequeños por lo que las acciones podrían ser bastante concretas como expropiación (que también implica la reubicación de las personas) y convertirlas en parques con zonas verdes y árboles nativos.

Cabe recalcar que en lo que comprende del periodo de estudio (2000-2018) muchas de las construcciones ya estaban allí; el plan de ordenamiento territorial se implementó 6 años después y cómo se mencionó anteriormente, tomar acción sobre algo que ya existe es complejo y al existir en el municipio territorios vulnerables parte del abordaje recae en la gestión del riesgo, una posible solución son los reasentamientos involucrando per se al gobierno porque es un proyecto grande y excede las posibilidades de la municipalidad tanto en acción como en presupuesto. No obstante, también se convierte un tema de agenda ya que en el país existen muchos más lugares que requieren de intervención urgente por lo que la opción de reasentamiento sería a largo plazo y por el momento se debe trabajar en conjunto de forma integral con la implementación y el seguimiento de planes de emergencia y evacuación en conjunto también con la CNE de manera que se cumplan tanto por parte de las autoridades como de las personas.

Cuando se contrastan los resultados con la zonificación existente se hace evidente que en esta no se toma en cuenta la verdadera realidad, en últimas instancias se está hablando de vidas humanas, lo cual se refleja en la categorización de alta densidad sin ascender a sitios de riesgos, sin realizar el debido manejo ante posibles inundaciones por lo que, aunado a esto en primer lugar se sugiere una actualización / mejora del comité cantonal contra emergencias porque en el plan y en la página no se mencionan sus miembros, únicamente su estructura organizativa y debe de estar conformado tanto por profesionales como por personas locales que conocen las dinámicas territoriales de los pueblos y así complementar la información de la mejor manera, en segundo lugar dicho comité debe actualizar el plan de emergencias para que sea más robusto, que contemple los sitios identificados de riesgo y en tercer lugar que el plan contemple también las necesidades prioritarias de las personas, los habitantes son los que realmente conocen el lugar y saben lo que necesitan, dicha información se puede recolectar por medio de trabajo de campo que incluya entrevistas y encuestas para la creación de bases de datos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de lo expuesto en esta investigación y del análisis llevado a cabo con todas las variables es importante concluir que la producción de escorrentía no siempre deriva en inundación ya que con el resultado obtenido se observa una baja relación, sin embargo, el comportamiento en general de cada variable sigue una tendencia similar y la convergencia de todas en la zona baja y densa en cobertura urbana arroja una alta probabilidad de ocurrencia de inundaciones.

Con los resultados del capítulo 1 es muy claro el cambio acelerado en las coberturas a través del tiempo, específicamente en los resultados del análisis de imágenes satelitales desde aproximadamente el año 1998, sin embargo, como exponen Sierra *et al* (2016) el cambio inicia en la década temprana de los 90 y los asentamientos urbanos e infraestructura empezaron a representar un factor directo de deforestación en el Valle Central. Estas transformaciones implican mayor demanda por parte de la población provocando aumentos en los servicios, el comercio y la industria a lo que se le suma poca severidad en las políticas que deriva en crecimiento sin orden y sin tomar en cuenta un equilibrio con la naturaleza, en este caso obstrucción / invasión de cauces de ríos (F. Solano & Aguilar, 2017).

Desamparados actualmente es el tercer cantón más poblado del país sobrepasando los 100.000 habitantes (INEC, 2012) y con antecedentes de que el aumento poblacional fue muy rápido (en un periodo de 10 años aproximadamente) implicando el uso de sitios inadecuados para desarrollo habitacional el cual tampoco se desarrolló de manera ordenada.

En cuanto al análisis del cambio en la cobertura boscosa se concluye que el cambio más significativo se dio en el distrito de san Rafael Arriba donde un terreno antes usado para cultivo de café y donde existía cobertura fue deforestado para dar paso a la construcción de una zona franca. Los demás sitios identificados como perdidas en su mayoría coinciden con la capa de cobertura, es decir, en el año 2000 se marcaban aún como cobertura boscosa y en el periodo 2001-2018 se perdieron.

En el caso del capítulo 2 se concluye como se mencionó anteriormente que la relación entre perdida de cobertura boscosa e inundaciones resultó baja, en mayor medida debido a que no se trabaja directamente con inundaciones (pero si se exponen registros de DesInventar y demás bibliografía) sino con resultados de escorrentía que brinda el modelo. Resultando en

que el problema se atribuye más a la exposición de viviendas en zonas inundables que a el aumento de la amenaza por deforestación y pérdida de SE; si bien esta premisa se encuentra estudiada (Bonell & Bruijnzeel, 2005; Bonnesoeur et al., 2019; Bruijnzeel, 2004; Kadaverugu et al., 2021) sería más evidente en una escala mayor lo que también difiere del caso puntual estudiado.

Es importante mencionar también que la inundación no depende solo la cantidad de cobertura boscosa existente, sino también de la configuración urbana, incluyendo vías y alcantarillado, para la zona de estudio donde se identificó una red de alcantarillado con un diseño no acorde lo cual según Lavell (2003) es una posible causa de desastres ya que se altera la configuración y el orden que lleve tanto un cauce como escorrentía superficial por lo tanto se es completamente vulnerable a un desbordamiento de estas que se conduce a los cauces de ríos aumentando su caudal y por tanto generación de inundaciones.

Por último, del capítulo 3 se logra recalcar que a nivel nacional y regional se ha avanzado mucho en temas de políticas públicas, leyes, decretos, etc. Es evidente el deseo de mejorar como país y claro, el desarrollo es innegable, la economía debe dinamizarse y poder generar progreso; sin embargo, se evidencia también que muchas veces las normas no salen del papel y a pesar de que existan esfuerzos se vuelve complejo alcanzar el desarrollo que integre las mejores condiciones en todos los ámbitos.

En el caso del cantón de Desamparados de acuerdo con lo expuesto se concluye que los desastres no se manejan de la mejor manera, el plan existente contra la mitigación de estos es deficiente, sus definiciones tienen pocas bases teóricas y las funciones del comité son más de forma que de fondo; en los datos de DesInventar analizados el número de afectados por inundaciones es alto y en bibliografía expuesta siempre se menciona las afectaciones a personas por lo que se intuye que el plan no es robusto, no es integral y no atiende según las necesidades reales de los ciudadanos. En la zonificación existente no se contempla el riesgo existente, el manejo de la zona de protección de los ríos y uso habitacional presente es confuso, limitante y cuestionable ya que únicamente se categoriza la zona urbana según residencias de baja, media y alta densidad, pero no se hace alusión alguna al peligro por inundación dejando en claro que permiten que personas continúen viviendo allí por lo tanto agravando más el problema.

En cuanto a la línea de investigación, según Janetos (1997) el monitoreo de cambios en el uso del suelo y cubiertas de tierra es importante porque el crecimiento demográfico y la demanda de recursos por parte de las sociedades humanas ponen en presión el uso de la tierra por actividades industriales y comerciales lo cual afecta los bienes y servicios producidos por los ecosistemas y respecto a la importancia de integrar el concepto de SE en el marco legal son investigaciones que han venido en aumento ya que los impactos positivos de las mismas contribuyen en la calidad de vidas de las ciudades, además de mostrar como con la evaluación de los SE es posible informar acerca del estado de la cobertura verde urbana para mejorar el manejo de esta (Gómez-Baggethun & Barton, 2013; Langemeyer et al., 2015). Así mismo, en lo que a SE urbanos refiere los estudios permitirán una adaptación de las ciudades en diferentes escenarios cambio climático y se generarán pautas para orientar a la planificación y el diseño urbano, es decir, la aplicación de los conceptos de sostenibilidad y sostenibilidad urbana pueden contribuir con un mejor desarrollo en equilibrio de las ciudades (Alavipanah et al., 2017). La importancia también de esta relación es poder mitigar desastres como inundaciones que generan pérdidas tanto sociales como económicas por lo que se destaca la importancia de una combinación en las medidas estructurales, ingenieriles y por supuesto ordenamiento territorial que minimice los efectos producidos (Lavell, 2003).

A partir de lo anterior se establecen las siguientes recomendaciones:

- ❖ Actualizar / replantear la zonificación ya que es un buen insumo, se menciona que se trabajó en un taller con equipo disciplinario, pero no se menciona la realización de trabajo de campo y es un paso muy importante a la hora de llevar a cabo la actualización para conocer de manera directa la realidad y las necesidades de la población, así como su inclusión en la toma de decisiones ya que la zonificación va más allá de categorizar zonas; implica variables económicas, políticas, ambientales y sociales que deben ser lo más actualizadas y conocidas posibles.
- ❖ Crear reglas para los desarrollos urbanos ya existentes como construcción de red de calles, pozos de infiltración y tanques de almacenamiento.

- ❖ Actualización del comité cantonal contra emergencias que implica de igual manera la inclusión de la sociedad civil en el proceso de la creación implementación y monitoreo de los planes.
- ❖ Generación de parques y zonas verdes durante el análisis se menciona que las construcciones presentes ya se encuentran allí desde hace mucho tiempo por lo que es complejo realizar un cambio, sin embargo, en los lugares donde sea posible como contraparte a permitir el desarrollo de más viviendas es útil proponer la creación de zonas verdes incluso en las zonas cercanas a los ríos para contribuir con la regeneración arbórea.
- ❖ Incluir marcos conceptuales de Servicios Ecosistémicos ya que con su implementación en el Ordenamiento Territorial permite comprender de mejor manera los sistemas y la integración de variables ambientales en el desarrollo social, económico y cultural contribuye a un equilibrio en el uso de los recursos naturales.

Por último, la generación de conocimiento y discusión para aportar en el desarrollo óptimo es crucial, este debe ser integral y de beneficio mutuo para todos los actores involucrados, desde la geografía como ciencia interdisciplinar y capaz de trabajar con sistemas se pueden brindar más insumos como este para incidir en la toma de decisiones, regulaciones y en la formulación de políticas públicas.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, H., Jiménez, M. F., Madriz, G., Murillo, V., & Zúñiga, A. (2018). *INCIDENCIA DE LA GESTIÓN PÚBLICA PARA EL DESARROLLO DE CAPACIDADES EN LAS MUNICIPALIDADES DE ALAJUELITA, DESAMPARADOS, GRECIA, HEREDIA Y MORA, EN EL ABORDAJE DE LA GESTIÓN PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO ANTE DESASTRES, DURANTE EL PERÍODO 2016-2017* [Universidad de Costa Rica].
<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/8720/1/42902.pdf>
- Ahern, J., Cilliers, S., & Niemelä, J. (2014). The concept of ecosystem services in adaptive urban planning and design: A framework for supporting innovation. *Landscape and Urban Planning*, 125, 254–259. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.020>
- Alavipanah, S., Haase, D., Lakes, T., & Qureshi, S. (2017). Integrating the third dimension into the concept of urban ecosystem services: A review. *Ecological Indicators*, 72, 374–398. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.08.010>
- Alcaldía Municipal de Desamparados. (2015). *Plan de Gobierno 2016-2020*.
- Amador, S; Masís, A; Muñoz, G; Vásquez, C; Mata, R. (2018). Calicatas, Capas cartográficas de órdenes y subórdenes de suelos de Costa Rica. Centro de Investigaciones Agronómicas, UCR.
- Ambientico. (2015). *Cobertura Forestal de Costa Rica*.
<http://www.ambientico.una.ac.cr/pdfs/ambientico/253.pdf>
- Aravana, A. et al. (2006). Santiago Dónde estamos y hacia dónde vamos. In *Santiago. Dónde estamos y hacia dónde vamos*.
- Arroyo González, L. (2011). Costa Rica: Análisis de la incidencia espacial de inundaciones y deslizamientos por provincias y cantones, años 2000 - 2006. *Revista Geográfica de América Central*, 47, 97–126.
<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/3968/3810>
- Astorga, A. (2011). *Ordenamiento territorial en Costa Rica 2010*.

- Astorga, Y. (2006). *Estado y gestión del recurso hídrico en Costa Rica*.
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas*, 21(1–2), 136–147. <https://core.ac.uk/download/pdf/16374396.pdf>
- Barbedo, J., Miguez, M., van der Horst, D., & Marins, M. (2014). Enhancing ecosystem services for flood mitigation: ¿A conservation strategy for peri-urban landscapes? *Ecology and Society*, 19(2). <https://doi.org/10.5751/ES-06482-190254>
- Bazant, J. (2010). *Expansión urbana incontrolada y paradigmas de la planeación urbana*. 475–503. <https://www.redalyc.org/pdf/122/12215112003.pdf>
- Bennett, A. (2003). Linkages in the Landscape. In *Public Transport International* (Vol. 59, Issue 2). School of Ecology and Environment, Deakin University.
- Bonell, M., & Bruijnzeel, L. (2005). *Forests, Water and People in the Humid Tropics* (M. Bonell & L. A. Bruijnzeel, Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535666>
- Bonnesoeur, V., Locatelli, B., Guariguata, M. R., Ochoa-Tocachi, B. F., Vanacker, V., Mao, Z., Stokes, A., & Mathez-Stiefel, S. L. (2019). Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review. In *Forest Ecology and Management* (Vol. 433, pp. 569–584). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.033>
- Bradshaw, C. J. A., Sodhi, N. S., Peh, K. S. H., & Brook, B. W. (2007). Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world. *Global Change Biology*, 13(11), 2379–2395. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01446>
- Bruijnzeel, L. A. (2004). Hydrological functions of tropical forests: ¿Not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104(1), 185–228. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.015>
- Brüschweiler, S., Höggel, U., & Kläy, A. (2004). Los Bosques y el Agua: Interrelaciones y su Manejo. *Sciences-New York, February*, 48.

- Calder, I. R. (1998). *Water-Resource and land-use issues*.
<http://www.cgiar.org/iwmi/swim/swimpb.htm>
- Campos, D., & Quesada, A. (2017). Impacto De Los Eventos Hidrometeorológicos En Costa Rica, Periodo 2000-2015. *Geo UERJ*, 0(30), 440–466.
<https://doi.org/10.12957/geouerj.2017.26116>
- Chacón, V. (2011). *Persisten quejas ambientales contra zona franca en Desamparados*.
<http://kioscosambientales.ucr.ac.cr/noticias/noticias-ambientales/1196-persisten-quejas-ambientales-contra-zona-franca-en-desamparados.html>
- Charpentier, W., Flores Angelica, Garro Maria, & Vargas, M. (2021). *Determinación del riesgo climático actual ante eventos hidrometeorológicos extremos, en ocho cantones de Costa Rica con alta recurrencia durante los últimos treinta años a partir de indicadores socio-espaciales (1988-2017)*. Universidad de Costa Rica.
- Corella Sáenz, D. (2009). *Renovación Urbana en el centro de Desamparados* (Issue 506) [Universidad de Costa Rica].
<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/4498>
- Contreras Ortiz, Y. (2018). *Ordenamiento territorial e instrumentos para el desarrollo urbano*. 5(1), 11–16. <https://orcid.org/0000-0003-1183-6826>
- Corredor, E. S., Fonseca Carreño, J. A., & Páez Barón, E. M. (2012). Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3(1), 77. <https://doi.org/10.22490/21456453.936>
- Cruz, Maria Concepción J. *Population Pressure, Economic Stagnation, and Deforestation in Costa Rica and the Philippines*. Liège, Belgium: IUSSP, 1992. Print.
- Cubero, C., & Carvajal, J. (2014). Distribución espacial de las inundaciones en Costa Rica, 10 años de sus efectos. *En Torno a La Prevención*, 2014(13), 15–20.
- Daily, G., Kareiva, P., Polasky, S., Ricketts, T., & Tallis, H. (2011). Mainstreaming natural capital into decisions. In *Natural Capital Theory and practice of Mapping Ecosystem Services* (p. 365). Oxford Unersity Press.

- Depietri, Y., Renaud, F. G., & Kallis, G. (2012). Heat waves and floods in urban areas: A policy-oriented review of ecosystem services. *Sustainability Science*, 7(1), 95–107. <https://doi.org/10.1007/s11625-011-0142-4>
- Ellison, D., Morris, C. E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarto, D., Gutierrez, V., Noordwijk, M. Van, Creed, I. F., Pokorny, J., Gaveau, D., Spracklen, D. V., Bargaes, A., Ilstedt, U., Teuling, A. J., Gebreyohannis, S., Sands, D. C., Muys, B., Verbist, B., ... Sullivan, C. A. (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, 43, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>
- Ennaanay, D., Conte, M., Brooks, K., Nieber, J., Sharma, M., Wonly, S., & Mendoza, G. (2011). Valuing land cover impact on storm peak mitigation. In *Natural Capital Theory and practice of Mapping Ecosystem Services*. Oxford University Press.
- Fazio, J. R. (2010). How Trees Can Retain Stormwater Runoff. *Tree City USA Bulletin*, 55, 8.
- Fernández, M. (s.f). *Corredor biológico interurbano rio Torres Reserva de la Biosfera*. <Http://Biocorredores.Org/Biodiver-City-Sanjose/Corredores-Biologicos/Corredor-Biologico-Interurbano-Rio-Torres-Reserva-de-La-Biosfera>.
- Fondo Nacional de Financiamiento Forestal. (2012). *Estudio de cobertura forestal de Costa Rica 2009-2010*. https://www.sirefor.go.cr/pdfs/tematicas/Cobertura_Boscosa/Estudio_de_Cobertura_Forestal_2010_v2_0512.pdf
- Gallegos, A., & Perles, M. J. (2019). Relaciones entre los cambios en los usos del suelo y el incremento de los riesgos de inundabilidad y erosión: análisis diacrónico en la provincia de Málaga (1957–2007). *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 81, 1–38. <https://doi.org/10.21138/bage.2740>
- Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>

- Gómez-Garita, C. A. (2018). *Evaluación de un protocolo de reforestación para la rehabilitación y mantenimiento en áreas de protección de la Subregión de San José, de la Gran Área Metropolitana* [Licenciatura, Universidad Nacional]. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Goulder, L., & Kennedy, D. (2011). Interpreting and estimating the value of ecosystem service. In *Natural Capital Theory and practice of Mapping Ecosystem Services* (p. 365). Oxford University Press.
- Grupo Consultivo de Expertos (GCE). (s.f.). *Manual Para El Sector Del Uso De La Tierra, Cambio De Uso De La Tierra Y Silvicultura (Ucuts)*. <https://unfccc.int/sites/default/files/11-bis-handbook-on-lulucf-sector.pdf>
- Gutiérrez, S. (2014). *Alcantarillado Pluvial. CRITERIOS Y LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA FACTIBILIDADES*. https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_3._alcantarillado_pluvial.pdf
- Haase, D. (2015). Reflections about blue ecosystem services in cities. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 5, 77–83. <https://doi.org/10.1016/j.swaqe.2015.02.003>
- Hansen, M. C., Stehman, S. v., & Potapov, P. v. (2010). Quantification of global gross forest cover loss. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(19), 8650–8655. <https://doi.org/10.1073/pnas.0912668107>
- Hansen, M. C. (2013). *High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change*. 850(November), 850–854. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
- Hernández, G., Barquero, A. I., Hernández, W., Méndez, A. L., Montero, W., & Sánchez, H. (2016). *Informe final “Gestión de los recursos forestales en Costa Rica.”* 1–27. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-6-126>
- Herrera Rodríguez, M. (2010). *CIENCIAS SOCIALES Y GESTIÓN AMBIENTAL. EL CASO DEL DESARROLLO FORESTAL URBANO EN COSTA RICA*. 89(2), 13–25. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:HX4uRM9AeqUJ:https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/reflexiones/article/download/11595/10940/+&cd=6&hl=es-419&ct=clnk&gl=cr>

- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) (2002). Indicadores demográficos según provincia, cantón y distrito. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Costa Rica, San José.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) (2014). Sistema de Consultas. Censos de Población y Vivienda, 2000 y 2011. Disponibles en www.inec.go.cr/Web/Home/GeneradorPagina.aspx
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) (2014b). Costa Rica: Población total proyectada al 30 de junio por grupo de edades según provincia cantón y distrito 2000. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Costa Rica, San José.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) (2014b). Costa Rica: Población total proyectada al 30 de junio por grupo de edades según provincia cantón y distrito 2011. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Costa Rica, San José.
- Inostroza, L., Garai Sarasti, H., & Pérez, G. (2020). Servicios ecosistémicos urbanos en Latinoamérica. Oportunidades para el desarrollo urbano sostenible, la acción climática y la gestión de la biodiversidad urbana. *Centro de Los Objetivos de Desarrollo Sostenible Para América Latina (CODS)*, 4, 1–28.
- Kadaverugu, A., Nageshwar Rao, C., & Viswanadh, G. K. (2021). Quantification of flood mitigation services by urban green spaces using InVEST model: a case study of Hyderabad city, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(1), 589–602. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00937-0>
- Langemeyer, J., Baró, F., Roebeling, P., & Gómez-Baggethun, E. (2015). Contrasting values of cultural ecosystem services in urban areas: The case of park Montjuïc in Barcelona. *Ecosystem Services*, 12, 178–186. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.11.016>
- Lavell, A. (2003). *La Gestión Local del Riesgo: Nociones y Precisiones en torno al concepto y la práctica*. <http://www.disaster-info.net/lideres/portugues/brasil%2006/Material%20previo/Allangestriesg.pdf>
- López, M. (1979). Expansión de las ciudades *. *EURE*, 22.

- Luederitz, C., Brink, E., Gralla, F., Hermelingmeier, V., Meyer, M., Niven, L., Panzer, L., Partelow, S., Rau, A. L., Sasaki, R., Abson, D. J., Lang, D. J., Wamsler, C., & von Wehrden, H. (2015). A review of urban ecosystem services: Six key challenges for future research. *Ecosystem Services*, *14*, 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.05.001>
- Lourenço, I. B., Beleño de Oliveira, A. K., Marques, L. S., Quintanilha Barbosa, A. A., Veról, A. P., Magalhães, P. C., & Miguez, M. G. (2020). A framework to support flood prevention and mitigation in the landscape and urban planning process regarding water dynamics. *Journal of Cleaner Production*, *277*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122983>
- Lozano-Rivas, W. A. (2018). *Clima, hidrología y meteorología: para ciencias ambientales e ingeniería*. Universidad Piloto de Colombia. <https://www.digitaliapublishing.com/a/55082>
- Machado, R. A. S., Oliveira, A. G., & Lois-González, R. C. (2019). Urban ecological infrastructure: The importance of vegetation cover in the control of floods and landslides in Salvador / Bahia, Brazil. *Land Use Policy*, *89*(December 2018), 104180. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104180>
- Martínez, T. (2014). *Treinta años de Metamorfosis Urbana Territorial en el Valle Central*. Programa Estado De La Nación. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- McKenzie, E., Irwin, F., Ranganathan, J., Hanson, C., Kousky, C., Bennett, K., Ruffo, S., Conte, M., Salzman, J., & Paavola, J. (2011). Incorporating ecosystem services in decisions. In *Natural Capital Theory and practice of Mapping Ecosystem Services* (p. 365). Oxford University Press.
- MINAE. (s.f.). *Sitio Institucional del MINAE*. <https://Minae.Go.Cr/>.
- Ministerio de Vivienda y Asentamientos Urbanos. (2012). *Política Nacional de Ordenamiento Territorial*. https://www.mivah.go.cr/Biblioteca_Politiclas_PNOT.shtml#:~:text=La%20PNOT%20es%20el%20resultado,de%20Ordenamiento%20Territorial%20y%20Vivienda.

- Monge, G., Esquivel, L., Campos, N., Méndez, L., Sánchez, H., Rodríguez, M., & Morales, L. (1995). Deslizamientos, inundaciones, sismos. *Litografía e Imprenta Universal, S.A.*, 32.
https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/informacion_educativa/recomentaciones_consejos/documentos/Folleto_Deslizamientos.pdf
- Montero, A., & Viales, R. (2015). *LA TEORÍA DEL CAMBIO EN EL PAISAJE A PARTIR DEL CAMBIO DEL USO DE LA TIERRA Y LA COBERTURA DEL SUELO (ENFOQUE LUCC). SU UTILIDAD PARA LA HISTORIA AMBIENTAL THE THEORY OF CHANGE IN THE LANDSCAPE FROM LAND USE AND LAND COVER CHANGE (LUCC APPROACH). ITS. 94(2), 25–33.*
- Montes, P. (2001). El Ordenamiento territorial como opción de políticas urbanas en América Latina y el Caribe. *CEPAL-Medio Ambiente y Desarrollo, 45*, 1–64.
- Morera, C., & Sandoval, L. (2018). *Fragmentación y conectividad de la cobertura natural a nivel cantonal en Costa Rica durante los años 2000 y 2015. 4, 37–61.*
- Municipalidad de Desamparados. (2007). *PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN DE DESAMPARADOS.*
- Municipalidad de Desamparados. (2016). *Plan de prevención de riesgos y atención de emergencias del cantón de Desamparados.*
- Natural Capital Project. (s.f). *Urban Flood Risk Mitigation Model.*
[Http://Releases.Naturalcapitalproject.Org/Invest-Userguide/Latest/Urban_flood_mitigation.Html#lulc.](http://Releases.Naturalcapitalproject.Org/Invest-Userguide/Latest/Urban_flood_mitigation.Html#lulc)
- Natural Capital Project. (2012, April 13). *Introduction to the Urban Flood Risk Mitigation Model [video].* [https://Www.Youtube.Com/Watch?V=7TVM6lN9utI&t=700s.](https://Www.Youtube.Com/Watch?V=7TVM6lN9utI&t=700s)
- Ojeda, D., Pinto, J., Bardosa, C., & Caardona, M. (2000a). *Ecosistemas, Capítulo 7 IDEAM* (P. Leyva, Ed.; 2nd ed.).
- Ojeda, D., Pinto, J., Bardosa, C., & Caardona, M. (2000b). *Ecosistemas, Capítulo 7 IDEAM* (P. Leyva, Ed.; 2nd ed.).

- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO). (2021). *Los Bosques y el agua*. <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/forest-and-water/basic-knowledge/es/#:~:text=Los bosques desempeñan importantes funciones, climático en los recursos hídricos>
- Pérez, A., & Ortiz, M. (2002). Cambio de la cubierta vegetal y vulnerabilidad a la inundación en el curso bajo del río Papaloapan, Veracruz. *Investigaciones Geográficas*, 48, 90–105. <https://doi.org/10.14350/rig.59174>
- Perona, M. (2017). Integration of ecosystem services in urban planning: urban rivers. *Territorios En Formación*, 14, 73–90. <http://polired.upm.es/index.php/territoriosenformacion/article/view/3649/3730>
- Plan Nacional de Ordenamiento Territorial de Costa Rica (PLANOT). (2003). Plan de Ordenamiento Territorial. <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-nacional-de-ordenamiento-territorial-de-costa-rica#:~:text=El%20ordenamiento%20territorial%20en%20Costa,el%20aprovechamiento%20de%20los%20recursos>
- Polasky, S., Caldarone, G., Duarte, K., Goldesting, J., Hannahs, N., Ricketts, T., & Tallis, H. (2011). Putting ecosystem service models to work: conservation, management, and trade-offs. In *Natural Capital Theory and practice of Mapping Ecosystem Services* (p. 365). Oxford University Press.
- Programa Estado de la Nación. (2004). *Informe Estado de la Nación 2004*.
- Programa Estado de la Nación. (2005). *Informe Estado de la Nación 2005*.
- Programa Estado de la nación. (2006). *ARMONÍA CON LA NATURALEZA CAPÍTULO 4*. <https://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/137>
- Programa Estado de la Nación. (2014). *Informe Estado de la Nación 2014*.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2012). *Conceptos Generales sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Contexto del País*. https://www.preventionweb.net/files/38050_38050conceptosbsicos.pdf

- Programa Estado de la Nación. (2018). *Informe Estado de la Nación 2018*.
<https://estadonacion.or.cr/informe/?id=28797234-99af-4c53-b436-7c9a57fb1fe1>
- Quesada, A. (2015). Implicaciones en la gestión del riesgo de desastres y ambiente en el Valle Central en los últimos treinta años (1985-2015). *Vigésimoprimer Informe Estado de La Nación*, 2014, 39.
https://www.academia.edu/19416170/Implicaciones_en_la_gestión_del_riesgo_de_desastres_y_ambiente_en_el_Valle_Central_en_los_últimos_treinta_años_1985_2015
- Quesada, A., & Calderón, G. (2018). *Gestión del riesgo y política pública en el cantón de Desamparados, Costa Rica*. 32, 1–19.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Rodríguez, F. (2022). *El ordenamiento del territorio como proceso complejo de la política pública en Costa Rica: El caso de la incorporación de la variable ambiental*.
www.ambientico.una.ac.cr
- Rojas, N. (2011). *Cuenca Rio Grande de Tárcoles*.
<http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/EstudioCuencas/EstudioCuencasHidrograficasCR.pdf>
- Rosero, L. (1997). *Conservación del Bosque en Costa Rica*.
- Salas Pérez, C., Coy Castro, D., Acuña Ramírez, K., Páez Cuervo, L., & Upegui, E. (2019). Crecimiento urbano e impermeabilización del suelo alrededor de la Reserva Forestal Thomas van der Hammen, en la ciudad de Bogotá. *Ambiente y Desarrollo*, 23(44).
<https://doi.org/10.11144/javeriana.ayd23-44.cuis>
- Salgado, D. (2009). Inundaciones y gestión del riesgo de desastres. Retos para su reducción y mitigación. *Ambientico*, 7–11. www.ambientico.org
- Sánchez, A. (2015). *Análisis de la cobertura forestal de Costa Rica entre 1960 y 2013*.
https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/26395/253_4-11.pdf

- Sánchez Jorge. (2021). *El desarrollo urbano y la impermeabilización del territorio. ¿Por qué se inundan las ciudades?*
- Sierra, R., Cambronero, A., & Vega, E. (2016). *Patrones y factores de cambio de la cobertura forestal natural de Costa Rica, 1987-2013.*
http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/rsierraacambroneroevega_patrones_y_factores_cus.pdf
- Sistema Costarricense de Información Jurídica. (1996). Ley:7575. Ley Forestal.
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=41661&nValor3=94526&strTipM=TC
- Sistema Costarricense de Información Jurídica. (2006). Decreto Ejecutivo: *Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación del Impacto Ambiental (Manual de EIA)-Parte III.*
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=57062&nValor3=72443&strTipM=FN
- Sistema Costarricense de Información Jurídica. (2007). Reglamento Municipal: *Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón de Desamparados Provincia de San José (Contiene Reglamento de Construcciones, Reglamento de Zonificación de Uso de Suelo, Reglamento de Rótulos Publicitarios, Reglamento de Vialidad, Transporte y Espacios Públicos).*
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=61983&nValor3=70540&strTipM=FN
- Solano, F., & Aguilar, J. (2017). *Situación de la vivienda y desarrollo urbano 2016.*
- Solano, M. (2011). *Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua de la parte media-alta de la microcuenca del río Damas y propuesta de manejo.*
<https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Impacto%20ambiental%20por%20aguas%20residuales%20y%20residuos%20s%C3%B3lidos%20en%20la%20calidad%20del%20agua.pdf>

- Tan, P. Y., Zhang, J., Masoudi, M., Alemu, J. B., Edwards, P. J., Grêt-Regamey, A., Richards, D. R., Saunders, J., Song, X. P., & Wong, L. W. (2020a). A conceptual framework to untangle the concept of urban ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, 200(April), 103837. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103837>
- Tan, P. Y., Zhang, J., Masoudi, M., Alemu, J. B., Edwards, P. J., Grêt-Regamey, A., Richards, D. R., Saunders, J., Song, X. P., & Wong, L. W. (2020b). A conceptual framework to untangle the concept of urban ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, 200(April), 103837. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103837>
- Tucci, C. (2007). *Gestión de inundaciones urbanas*.
- Ulibarri, E., González, C., Valverde, A., & Gutiérrez, R. (2006). *Vivienda y asentamientos en Precario en la GAM**.
- United States Department of Agriculture. (2004). *Hydrologic Soil-Cover Complexes Rain*. <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17758.wba>
- United States of Agriculture. (2007). *Chapter 7 Hydrologic Soil Groups*. <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=22526.wba>
- van Dijk, A. I. J. M., van Noordwijk, M., Calder, I. R., Bruijnzeel, S. L. A., Schellekens, J. A. A. P., & Chappell, N. A. (2009). Forest-flood relation still tenuous - Comment on 'Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world' by C. J. A. Bradshaw, N.S. Sodi, K. S.-H. Peh and B.W. Brook. *Global Change Biology*, 15(1), 110–115. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01708>.
- Vargas, G. (2012). *Geografía de Costa Rica* (Editorial: EUNED, Ed.).
- Velázquez, A., Siebe, C., & Bocco, G. (2004). *Cambio de Uso del Suelo. February 2015*.
- Villegas, P. (2017, January 9). *Método del número de curva del SCS*. [https://Aguaysig.Com/Metodo-Del-Numero-de-Curva-Del-Scs/#:~:Text=Es%20un%20modelo%20emp%C3%ADrico%20desarrollado,CN\)%20agregado%20de%20la%20cuenca](https://Aguaysig.Com/Metodo-Del-Numero-de-Curva-Del-Scs/#:~:Text=Es%20un%20modelo%20emp%C3%ADrico%20desarrollado,CN)%20agregado%20de%20la%20cuenca).

- Zhang, H., Ma, W. C., & Wang, X. R. (2008). Rapid urbanization and implications for flood risk management in hinterland of the Pearl River Delta, China: The Foshan study. *Sensors*, 8(4), 2223–2239. <https://doi.org/10.3390/s8042223>
- Zimmermann, E., & Bracalenti, L. (2014). *Reducción de riesgo de inundación urbana mediante incremento de áreas verdes. I.*
- Zúñiga, B. (2017). *VALORACIÓN DE LA ARBORICULTURA Y LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO EN 12 PARQUES DEL CANTÓN DE DESAMPARADOS, SAN JOSÉ, COSTA RICA* [Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9382>