

Perfil de riesgo de desastres para Paraguay

Banco Interamericano de Desarrollo

División de Medio Ambiente,
Desarrollo Rural y Gestión del
Riesgo por Desastres (RND)

NOTA TÉCNICA N°
IDB-TN-01468

Perfil de riesgo de desastres para Paraguay

Banco Interamericano de Desarrollo

Septiembre 2018



Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo

Perfil de riesgo de desastres para Paraguay / Banco Interamericano de Desarrollo.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 1468)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Natural disasters-Paraguay. 2. Emergency management-Paraguay. 3. Disaster relief-Paraguay. I. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Administración de Riesgos por Desastres. II. Título. III. Serie.

IDB-TN-1468

Palabras Clave: Gestión de Riesgo de Desastres , Evaluación Probabilista del Riesgo, Inundación, Sequía

Código JEL: Q540

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2018 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Tabla de Contenido

1. Introducción	0
1.1 Introducción General	0
1.2 Objetivos del proyecto	1
1.3 Descripción de Paraguay	1
1.3.1 Ubicación geográfica	1
1.3.2 Demografía	3
1.3.3 Climatología	5
1.3.4 Orografía	6
1.3.5 Economía	8
1.3.6 Masas Forestales y estado del sector forestal.....	10
2. Metodología.....	13
3. Evaluación de la Amenaza	18
3.1 Descripción de las amenazas	18
3.2 Evaluación de amenaza por inundación	20
3.2.1 Caracterización de la amenaza por inundación.....	20
3.2.2 Eventos históricos de inundación.....	22
3.2.3 Mapas de amenaza por inundación.....	30
3.3 Evaluación de amenaza por sequía	37
3.3.1 Caracterización de la amenaza por sequía.....	37
3.3.2 Eventos históricos de sequía	39
3.3.3 Mapas de amenaza de sequía	46
3.4 Evaluación de amenaza por incendios forestales	52
3.4.1 Caracterización de la amenaza por incendio	52
3.4.2 Eventos históricos de incendios	54
3.4.3 Mapa de amenaza de incendio	55
4. Exposición y Vulnerabilidad	61
4.1 Elementos expuestos a la inundación y sequía	61
4.1.1 Distribución de la población expuesta	63
4.1.2 Distribución de la renta expuesta.....	65

4.1.3	Indicadores de activos expuestos (stock de capital)	67
4.1.4	Indicadores de flujos económicos	74
4.1.5	Resumen del valor expuesto a inundaciones y sequías	83
4.2	Elementos expuestos a Incendios Forestales.....	86
4.3	Análisis de la vulnerabilidad	90
4.3.1	Vulnerabilidad frente a inundaciones	90
4.3.2	Vulnerabilidad frente a sequías.....	93
4.3.3	Vulnerabilidad frente a incendios forestales	95
5.	Perfil de Riesgo	98
5.1	Análisis del riesgo	98
5.2	Riesgo por inundación.....	98
5.2.1	Análisis de la población afectada.....	100
5.2.2	Daños al <i>stock</i> residencial	103
5.2.3	Daños al stock de capital de sector industrial y servicios	106
5.2.4	Daños al <i>stock</i> de capital publico.....	108
5.2.5	Pérdidas de producción agrícola.....	109
5.2.6	Pérdida de producción industrial y servicios	111
5.2.7	Daños agregados por destrucción de activos urbanos	112
5.2.8	Pérdidas por interrupción de actividades	115
5.2.9	Daño total por inundación	118
5.3	Riesgo por Sequía.....	126
5.3.1	Análisis de la población afectada.....	126
5.3.2	Pérdidas en la producción agrícola	129
5.3.3	Pérdidas en la ganadería	130
5.4	Riesgo por Incendio	136
5.4.1	Susceptibilidad cualitativa de Incendio Forestal	137
5.4.2	Análisis de la población afectada.....	142
5.4.3	Riesgo cuantitativo promedio de incendio forestal.....	143
6.	Conclusiones.....	146
6.1	Conclusiones del riesgo de inundación.....	146
6.2	Conclusiones del riesgo de sequía	147
6.3	Conclusiones del riesgo de incendio forestal	148

7. Referencias.....	150
---------------------	-----

Lista de Figuras

Figura 1 – Mapa de ubicación de Paraguay en América del Sur y mapa físico del país	2
Figura 2 - Distribución de departamentos de Paraguay y principales núcleos de población	3
Figura 3 - Densidad poblacional región de Paraguay	4
Figura 4 - Evolución de la población en Paraguay en el periodo 1887-2002.....	5
Figura 5 - Estructura de la población por edad y sexo en Paraguay, 2000	5
Figura 6 - Precipitación anual media (mm) en Paraguay, periodo 1971-2000 y Mapa de Temperaturas media anual en Paraguay, periodo 1961-1990.....	6
Figura 7 - Principales ríos de Paraguay y Extensión del Acuífero Guaraní elaborado por la Secretaría de Recursos Hídricos de Argentina.....	7
<i>Figura 8 - Mapa de relieve República de Paraguay.....</i>	8
Figura 9 - Indicadores económicos de Paraguay: PIB y PIB por habitante 2004-2014	9
Figura 10 - Esquema general de la metodología para analizar las amenazas de sequía e inundación.....	15
Figura 11 - Representación esquemática del proceso metodológico de evaluación de riesgos por incendio forestal	17
Figura 12 - Mapa global sobre eventos extremos de inundación desde 1985-2002	18
Figura 13 - Zonas afectadas por inundación ribereña o pluvial en Paraguay.....	19
Figura 14 - Esquema de la metodología empleada para evaluar la inundación	21
Figura 15 - Picos históricos registrados en Puerto Asunción, Paraguay	23
Figura 16 - Noticia del diario digital "Esto es Pilar", del día 24 de Mayo 2013	26
Figura 17 - Noticia inundación río Paraguay 29 de Mayo de 1992	27
Figura 18 - Recorte de prensa sobre inundaciones en Mayo/Junio de 1998 en Paraguay	28
Figura 19 - Registro de alturas hidrométricas en el río Paraná, Puerto Libertad. 2014-Enero 2015	29
Figura 20 - Elevación media (izquierda) y máxima (derecha) del agua en la llanura de inundación. Periodo de estudio 1950-2013. Resolución 0,25°	30
Figura 21 - Porcentaje medio de días al año con valores de inundación en sus márgenes >0 m (izquierda). Porcentaje medio de días al año con más de un metro de elevación de agua en la llanura de inundación (valores > 1) (derecha).....	32
Figura 22 - Porcentaje medio (izquierda) y máximo (derecha) de superficie de celda inundada. Resolución 0,25°. Periodo de estudio 1950-2013.....	33

Figura 23 - Crecida asociada a periodos de retorno de 20, y 100 años. Unidades en metros. Resolución 0,25°	35
Figura 24 - Porcentaje de área inundada asociada a periodos de retorno de 10, 20, 50, 100 y 500 años. <i>Valor de 1, indica 100% del área de la celda tiene algún tipo de inundación. Resolución 0,25°</i>	36
Figura 25 - Metodología seguida en la caracterización de la sequía en Paraguay aplicando el Índice de sequía VIC (Sheffield et al., 2004)	38
Figura 26 - Sequía producida en el Chaco Paraguayo en el año 2009	40
Figura 27 - Distribución de eventos de sequía en Paraguay (1997-2013).....	42
Figura 28 - Indice de sequía VIC para enero, junio y diciembre de 1962	43
Figura 29 - Índice de sequía VIC para mayo, junio, agosto de 1978	44
Figura 30 - Índice de sequía VIC para septiembre, octubre y noviembre de 1999.....	45
Figura 31 - Índice de sequía VIC para abril, junio y septiembre de 2008	46
Figura 32 - Intensidad media de la sequía, número total de sequías, duración media de sequías (meses), severidad máxima de la sequía.....	48
Figura 33 - Número de sequías en función de la duración	49
Figura 34 - Severidad de la sequía asociada a periodos de retorno de 20, y 100 años... 50	50
Figura 35 - Duración en meses de la sequía asociada a periodos de retorno de 20 y 100 años. Resolución 0,25°	51
Figura 36 - Esquema de la metodología de evaluación de la amenaza-susceptibilidad de incendio a nivel nacional	54
Figura 37 - Mapa de riesgo de ignición.....	56
Figura 38 - Mapa de velocidad de propagación.....	56
Figura 39 - Mapa de posibilidad de control o extinción de incendio forestal.....	57
Figura 40 - Mapas de amenaza / Susceptibilidad de incendio forestal.....	58
Figura 41 - Mapas de amenaza / Susceptibilidad de incendio forestal categorizado	59
Figura 42 - Distribución espacial de población del Paraguay <i>grid</i>	64
Figura 43 - Distribución espacial de ingresos familiares mensuales para el año 2002	67
Figura 44 - Distribución Espacial de activos urbanos y correlación con la población.....	70
Figura 45 - Distribución Espacial de Infraestructuras viarias y Elementos Singulares	73
Figura 46 - Distribución espacial del valor de la productividad agraria para el 2013.....	75
Figura 47 - Distribución espacial del valor de producción agraria 2013	76
Figura 48 - Distribución espacial del valor añadido bruto industrial.....	78
Figura 49 - Distribución espacial valor añadido bruto del sector comercial	80

Figura 50 - Distribución espacial del valor añadido bruto del sector servicios no comerciales	81
Figura 51 - Esquema de la metodología de evaluación de exposición frente a incendios a nivel nacional	87
Figura 52 - Distribución espacial de valor nominal de elementos expuestos ante incendios forestales	89
Figura 53 - Función logística del daño asociado a la severidad de la sequía.....	94
Figura 54 - Función de vulnerabilidad estimada asociada a los incendios	97
Figura 55 – Identificación de ríos principales, red hidrográfica y departamentos del país	100
Figura 56 - Número de personas afectadas.....	102
Figura 57 - Número de personas afectadas.....	102
Figura 58 - Daños causados al <i>stock</i> residencial.....	105
Figura 59 - Daños causados al <i>stock</i> residencial.....	105
Figura 60 - Daños causados al <i>stock</i> industrial y servicios.....	107
Figura 61 - Daños causados al <i>stock</i> industrial y servicios.....	107
Figura 62 - Daños causados al capital público	108
Figura 63 - Daños causados al capital público	109
Figura 64 - Daños causados por pérdida en la producción agrícola.....	110
Figura 65 - Daños causados por pérdida en la producción agrícola.....	111
Figura 66 - Valor añadido bruto por la pérdida de producción industrial y servicios.....	112
Figura 67 - Valor añadido bruto por la pérdida de producción industrial y servicios.....	112
Figura 68 - Daños agregados por destrucción de activos fijos	114
Figura 69 - Daños agregados por destrucción de activos fijos	114
Figura 70 - Daños agregados por interrupción de actividades	116
Figura 71 - Pérdidas por interrupción de actividades.....	117
Figura 72 - Distribución espacial del daño total por inundación.....	119
Figura 73 - Distribución espacial del daño total por inundación.....	119
Figura 74 - Curva de excedencia de afección por inundación sobre personas	121
Figura 75 - Curva de excedencia de daños por inundación.....	122
Figura 76 - Curva de excedencia de pérdidas por interrupción de actividades	123
Figura 77 - Curva de excedencia de daños por inundación.....	124
Figura 78 - Curva de excedencia de pérdidas por inundación.....	125
Figura 79 - Curva de excedencia de daños globales.....	126
Figura 80 - Distribución espacial de la población afectada por la sequía	127

Figura 81 - Distribución espacial de la población afectada por sequía	127
Figura 82 - Pérdidas en la producción agrícola	130
Figura 83 - Pérdidas en la producción agrícola	130
Figura 84 - Pérdidas en la producción ganadera	132
Figura 85 - Pérdidas en la producción ganadera	132
Figura 86 - Curva de excedencia de afección por sequía a personas	134
Figura 87 - Curva de excedencia de afección por sequía a actividades agrarias	135
Figura 88 - Curva de excedencia de pérdidas por sequía	136
Figura 89 - Susceptibilidad cualitativa de incendio forestal	138
Figura 90 - Susceptibilidad cualitativa de incendio forestal vs áreas quemadas	141

Lista de Tablas

Tabla 1 - Aportación al PIB por sectores para el 2013	10
Tabla 2 - Superficies forestales del país	10
Tabla 3 - Cobertura Forestal de Paraguay.....	11
Tabla 4 - Resultado de las simulaciones con el modelo CaMa-Flood el 31 de Mayo de 1983	25
Tabla 5 - Resultado de las simulaciones con el modelo CaMa-Flood el 28 de Junio de 1988	26
Tabla 6 - Resultado de las simulaciones con el modelo CaMa-Flood el 29 de Mayo de 1992	27
Tabla 7 - Resultado de las simulaciones con el modelo CaMa-Flood el 30 de Abril de 1998	28
Tabla 8 - Resumen de los eventos de sequía registrados (1997-2013)	40
Tabla 9 - Superficies y rangos de amenaza / incendio forestal	59
Tabla 10 – Elementos expuestos a inundación – sequía. Fuentes de datos.....	62
Tabla 11 - Ingreso promedio anual para el año 2002 por departamento.....	66
Tabla 12 - Stock de capital residencial 2014	68
Tabla 13 - Stock de capital industrial y servicios 2014 por departamento	71
Tabla 14 - Tabla Stock de capital Público 2014.....	74
Tabla 15 - Tabla de PIB agrícola 2014	77
Tabla 16 - Caracterización del sector industrial	79
Tabla 17 - Caracterización del sector servicios	83
Tabla 18 - Superficies y valor nominal estimado por departamento ante amenaza de incendio forestal	87
Tabla 19 – Tipos de cobertura para los distintos activos considerados.....	92
Tabla 20 – Funciones de vulnerabilidad para los distintos activos	93
Tabla 21 - Índices de vulnerabilidad estimados aplicados a superficies con quemadas recurrentes	96
Tabla 22 - Distribución de personas afectadas por inundación por Departamento	103
Tabla 23 - Distribución del daño total por departamento	115
Tabla 24 - Distribución de las pérdidas por inundación por parada de actividades por Departamento	117
Tabla 25 - Cuantificación de los daños por inundación	120
Tabla 26 - Distribución de las afecciones a personas por sequías por departamento ...	128

Tabla 27 - Distribución de las afecciones al medio agrario por sequías por departamento	133
Tabla 28 - Cuantificación de los daños y pérdidas por sequía personas afectadas	134
Tabla 29 - Susceptibilidad cualitativa de incendio forestal.....	139
Tabla 30 - Susceptibilidad cualitativa de incendio forestal de áreas quemadas	141
Tabla 31 - N° promedio anual de afectados y viviendas destruidas por incendios forestales	143
Tabla 32 - Pérdida media esperada por año por incendios forestales según escenarios de cálculo	145

Lista de Anexos

Anexo A – Resumen de datos recopilados sobre la incidencia de las amenazas naturales seleccionadas

Anexo B – Modelos de detalle/Metodología

Anexo C – Descripción de las amenazas

Anexo D – Indicadores de Exposición

Anexo E – Cálculo del Riesgo

1. Introducción

1.1 Introducción General

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ha venido desarrollando en los últimos años un instrumento técnico titulado “Perfil de Riesgo de Desastres”. Dicho instrumento técnico puede describirse como un resumen del riesgo de desastres, expresado en términos cuantitativos y monetarios, incluyendo estimaciones de pérdidas máximas probables y pérdidas promedio anuales a nivel regional y por sector de desarrollo de un país. En su momento, el objetivo final de la iniciativa lanzada por el BID fue la de proporcionar a los gobiernos de sus países miembros conocimiento sobre daños económicos y sociales que un país puede sufrir de media anualmente con el fin de diseñar y desarrollar medidas de mitigación y planificación frente a estas pérdidas.

Este Informe es de especial relevancia para los países latinoamericanos debido a su especial sensibilidad general respecto a la incidencia de distintos tipos de amenazas que se producen de forma periódica pero regular a lo largo del continente. Una gran parte de la población de estos países es considerada vulnerable a las consecuencias de este tipo de eventos debida a su alta exposición y nivel de riesgo. Además, el actual contexto de cambio climático y los efectos asociados a este, los cuales empiezan a notarse globalmente y muy especialmente en los países latinoamericanos, sugiere que la implementación de políticas de gestión y reducción de riesgos de desastres se hace aún más necesaria para salvaguardar el futuro progreso de estas naciones.

Este Informe presenta la evaluación de riesgo para Paraguay para amenaza por inundaciones, sequía e incendios forestales. La amenaza que suponen las inundaciones y eventos de sequía que enfrenta Paraguay de forma periódica exige la caracterización de riesgo a nivel país, para lo cual idealmente deberían utilizarse datos oficiales generados por las instituciones nacionales paraguayas. Para la elaboración de este análisis se han utilizado modelos globales aplicados a escala nacional. El estudio presenta un panorama global de la situación de riesgos de inundaciones y sequías en Paraguay, que permite comprender la dinámica territorial de estos eventos, identificando así las áreas críticas en donde deberían desarrollarse estudios de mayor detalle que faciliten la toma de decisiones para la reducción de riesgos y permitan una mejor planificación del territorio.

En relación con la amenaza de incendios forestales, las fuentes de datos disponibles son relativamente escasas por lo que los resultados cuantitativos aportados deben ser

considerados mayoritariamente como promedios probables en términos de orden de magnitud.

1.2 Objetivos del proyecto

El presente documento tiene por objetivo caracterizar: los riesgos a las inundaciones¹ y sequías, como amenazas naturales propiamente dichas, y los incendios forestales que tienen un origen mayoritariamente antrópico, de tal forma que la metodología de evaluación de los riesgos inherentes a esta última amenaza se realiza de acuerdo a una metodología de análisis distinta. El análisis de riesgo incluirá tanto la afección al acervo físico y a la actividad económica y a la vida humana.

Debido a la extensión del territorio considerado, se utilizó una metodología multi-escala para realizar una caracterización detallada en aquellos lugares de mayor variabilidad de características, con más población y con mayor valor económico expuesto, y una descripción más somera en zonas con menor variabilidad espacial o con menor población y valor económico expuesto.

1.3 Descripción de Paraguay

1.3.1 Ubicación geográfica

La República del Paraguay tiene una superficie de 406.752 km² y se encuentra situada en el hemisferio sur del continente americano, entre los paralelos 19°18' y 27°03' de latitud Sur, y los meridianos 54°15' y 62°38' de longitud Oeste. Limita al norte con Bolivia y Brasil, al este con Brasil, al sur y al oeste con Argentina. Los límites con Argentina son el río Pilcomayo, el río Paraguay y el río Paraná. La frontera con Brasil está también marcada por el río Paraná desde Ciudad del Este a la altura de la confluencia con el río Iguazú hasta Saltos de Guairá más al Norte (Figura 1).

¹ En este caso se refiere a inundación a todas aquellas inundaciones que puedan producirse y capturarse a partir de la información diaria disponible. Dada la escala espacial de trabajo y las limitaciones inherentes al análisis de sistemas terrestres, la mención a inundaciones súbitas o lentas en este estudio sería artificial y por ello se habla en general de inundaciones.

Figura 1 – Mapa de ubicación de Paraguay en América del Sur y mapa físico del país



Fuentes: Turismo Paraguay, 2017 y HRW, 2017.

Paraguay está dividido en 17 Departamentos y estos a su vez en Distritos (Figura 2). Estos son: Alto Paraguay, Boquerón, Presidente Hayes, Concepción, Amambay, San Pedro, Canindeyú, Caaguazú, Cordillera, Central, Paraguarí, Guairá, Alto Paraná, Caazapá, Misiones, Ñeembucú e Itapúa, además del distrito de la capital, Asunción. Para la determinación del número de distritos se han consultado varias fuentes. En el censo del año 2002 se recogían un total de 224 distritos. Según el *Global Administrative Areas* (GADM) existen 217 distritos². No obstante consultadas otras fuentes, se ha observado una división de 250 distritos a partir del censo de 2011. Sin embargo, a fecha de hoy, se sabe que existen 270 distritos.

² <http://www.gadm.org/country>.

Figura 2 - Distribución de departamentos de Paraguay y principales núcleos de población



Fuente: Elaboración propia.

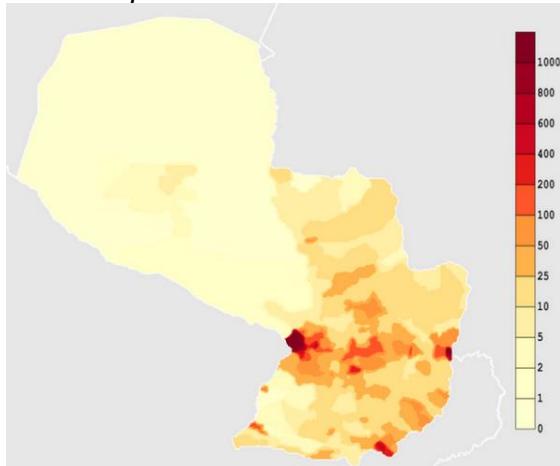
El territorio paraguayo está dividido por el río Paraguay que lo atraviesa de Norte a Sur, en dos regiones muy diferentes entre sí, la región Occidental, también conocida como Chaco Paraguayo, y la región Oriental. Existen diferencias fundamentales entre ambas regiones, tanto en características biofísicas, en topografía, en clima, en el acceso a recursos hídricos, así como en la distribución de la población según se detalla en el apartado siguiente.

1.3.2 Demografía

La región Oriental al sur del país, representa el 39% del territorio y contiene poco más del 97% de la población, con una densidad de 31,5 hab/km². Por otro lado, la región Occidental, al norte del país, ocupa el 61% del territorio y en ella reside poco más del 2% de la población con una densidad de 0,5 hab/km². La densidad de población a nivel país es de 12,7 hab/km². Según datos de la Dirección General de Estadística Encuestas y Censos (DGEEC, 2002),

Asunción y el departamento Central tienen las mayores densidades de población, 4.377 y 552,9 hab/km² respectivamente (Figura 3).

Figura 3 - Densidad poblacional región de Paraguay
Expresado en habitantes/km²



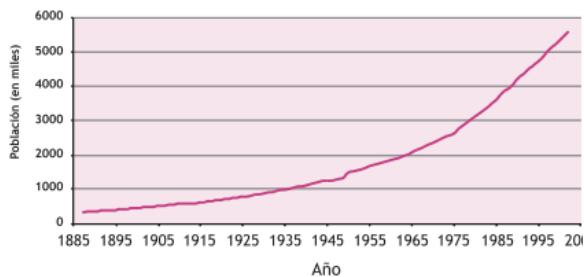
Fuente: Universidad de Columbia, 2017.

En el último medio siglo, Paraguay cuadruplicó su población. En 1950 contaba con 1.328.452 habitantes. Según el último Censo Nacional de Población y Viviendas de 2002, en aquel año Paraguay tenía 5.163.198 habitantes.

En la Figura 4 se puede observar la tendencia exponencial de crecimiento poblacional de Paraguay desde 1887. Esto se debe principalmente a la disminución de la mortalidad y, en menor grado, a las inmigraciones internacionales. Se estima que, de mantenerse la tasa actual, Paraguay duplicaría su población en aproximadamente 30 años (DGEEC, 2002).

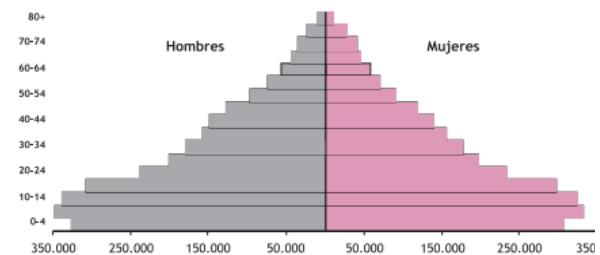
El último Censo de 2002 refleja que el país mantiene una baja densidad poblacional con una distribución poblacional mayormente urbana en el que se concentra el 56,7% de la población y 43,3% en las áreas rurales. Los mayores porcentajes de población del país se concentran en los departamentos: Central (26,4%), Alto Paraná (10,8%), Asunción (9,9%), Itapúa (8,8%) y Caaguazú (8,4%).

Figura 4 - Evolución de la población en Paraguay en el periodo 1887-2002



Fuente: DGEEC, 2002

Figura 5 - Estructura de la población por edad y sexo en Paraguay, 2000



Fuente: DGEEC, 2002

La distribución de la población por sexo varía según áreas urbanas o rurales. Para las primeras, el porcentaje de hombres es de 48,6%, mientras que para las segundas es de 52,8% (DGEEC, 2002) (Figura 5). El 44% de la población de Paraguay tiene menos de 20 años (CEPAL, 2012).

1.3.3 Climatología

En la República del Paraguay predomina el clima subtropical. La zona Oriental del país se caracteriza por tener clima templado a subtropical, en cambio, la zona del Chaco tiene un clima que va de subtropical a tropical.

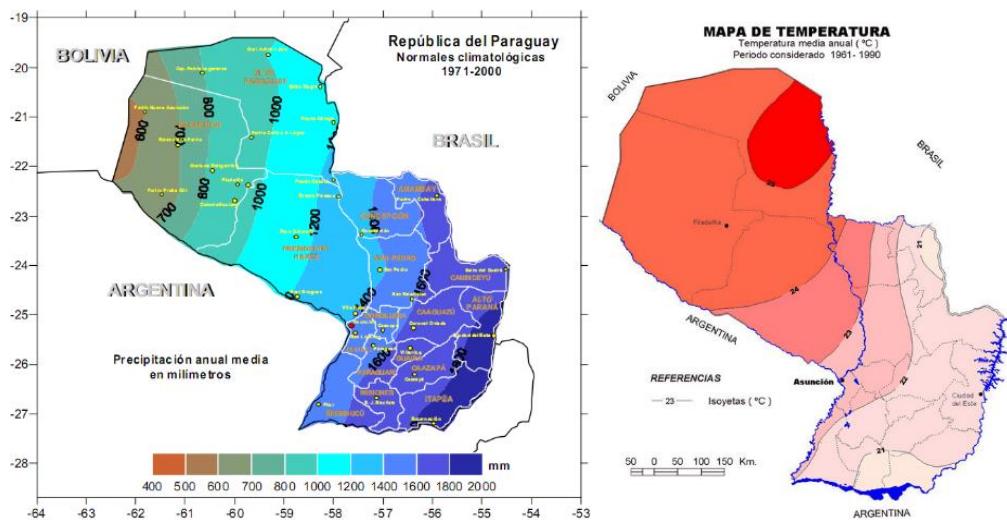
Los centros de acción fundamentales que afectan a Paraguay son la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), el anticiclón del Atlántico sur y, ocasionalmente, el frente polar austral, sobre todo en la zona sur.

La precipitación es abundante en las regiones al este del país. En la región Oriental se observa una media de 1.500 mm anuales de precipitación (Figura 6). En cambio, la región Occidental, el Chaco, es semiárida con escasez de agua. En esta zona la evaporación excede a la precipitación provocando un déficit hídrico durante buena parte del año con cambios bruscos de temperaturas. En verano, pueden superar los 32°C y en invierno bajan hasta los -6°C³. Esta región alterna períodos de inundaciones con períodos muy secos. Concentra

³ Información obtenida de la Dirección de Meteorología e Hidrología.

precipitaciones en verano (octubre a marzo) y áreas extensas desiertas en invierno que se convierten en zonas encharcadas en los meses de verano.

Figura 6 - Precipitación anual media (mm) en Paraguay, periodo 1971-2000 y Mapa de Temperaturas media anual en Paraguay, periodo 1961-1990



Fuente: Campos Paraguay, 2017.

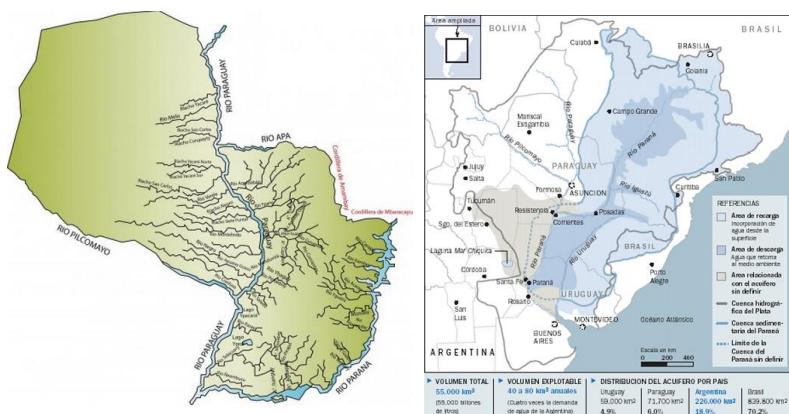
Al caracterizarse la zona con un clima subtropical, las estaciones no están bien definidas. Hace calor durante todo el año con precipitaciones abundantes en forma de tormentas. El verano (21 de diciembre – 20 de marzo) es muy caluroso en todo el país. El otoño (21 de marzo – 20 de junio) es también caluroso y suelen producirse tormentas otoñales. El invierno (21 de junio – 20 de septiembre) es fresco, en general, y se caracteriza por ser la estación con menores precipitaciones del año. Incluso puede haber heladas en la parte noroeste del país. La primavera (21 de septiembre – 20 de diciembre) es calurosa y pueden producirse tormentas aisladas. En general los meses más secos del año son julio y agosto, en cambio las precipitaciones más importantes se registran entre los meses de octubre a marzo. La temperatura media anual es de 22°C.

1.3.4 Orografía

El país se ubica íntegramente dentro de la Cuenca del Río de la Plata que se caracteriza por tener una densa red hídrica donde destacan principalmente tres ríos: el Pilcomayo en la frontera oeste del país con Argentina, el río Paraguay que atraviesa el país por la parte central,

y el río Paraná en la frontera este del país con Brasil y Argentina. Con relación a las aguas subterráneas, el país cuenta con amplios acuíferos, el más importante, el “Acuífero Guarani”, que constituye la mayor reserva subterránea de agua dulce del mundo ($1.200.000 \text{ km}^2$) (Figura 7), extendiéndose en el subsuelo de Paraguay, Brasil, Argentina y Uruguay. Este acuífero se encuentra en el extremo este del país, en la región Oriental.

Figura 7 - Principales ríos de Paraguay y Extensión del Acuífero Guarani elaborado por la Secretaría de Recursos Hídricos de Argentina

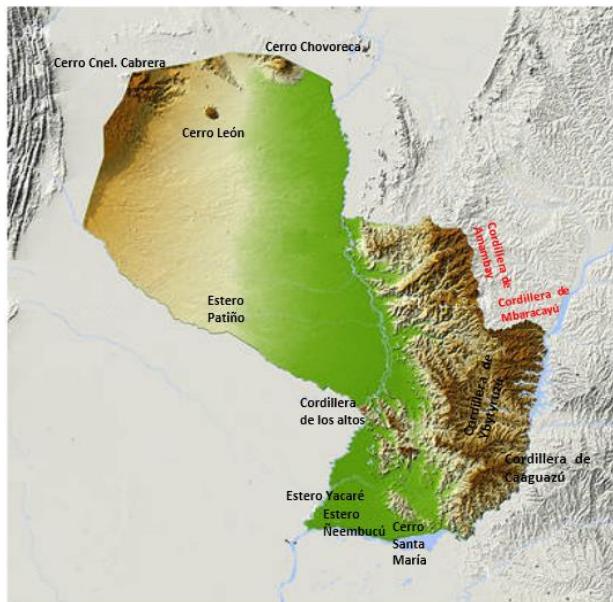


Fuentes: Diario ABC y El Clarín, 2017

La parte noroeste del país forma parte del “Chaco Sudamericano”. Esta región biogeográfica está constituida por una llanura que se extiende por partes de Bolivia, Argentina, Paraguay y una pequeña porción de Brasil, desde el pie de los Andes hacia el sistema fluvial de los ríos Paraguay y Paraná. Pertenecen a las planicies centrales del continente que forman las regiones más extensas y menos pobladas de América del Sur. El Chaco sufre de frecuentes sequías e inundaciones extremas.

Si se analizan los principales accidentes geográficos que caracterizan el país, pueden diferenciarse claramente las dos zonas en que se divide: la región occidental y la oriental (Figura 8).

Figura 8 - Mapa de relieve República de Paraguay



Fuente: Organización PyBio, 2017.

El Chaco Sudamericano se caracteriza por tener una superficie plana con algunas elevaciones más acusadas al noroeste del país en la frontera con Bolivia. Esta parte del país se caracteriza por ser plana desde el río Paraguay hacia el oeste hasta la frontera con Bolivia donde presenta mayor relieve. Por otro lado, la región Oriental, al sureste del país, se caracteriza por ser ondulada con numerosas cordilleras que dividen el curso de los ríos Paraguay y Paraná. En la parte central del país destaca la llanura formada por los humedales anexos al cauce del río Paraguay.

1.3.5 Economía

Paraguay dispone de recursos hídricos, hidroeléctricos, forestales y oportunidades para el desarrollo de la agricultura y ganadería.

El desempeño económico de Paraguay ha mejorado de manera significativa en la última década, mostrando un crecimiento promedio del Producto Interno Bruto (PIB) de 4,8% durante el período 2005-2015, superior al promedio del MERCOSUR que corresponde al 4%. Para el 2016, en un contexto regional de marcada desaceleración de crecimiento, se destaca que la

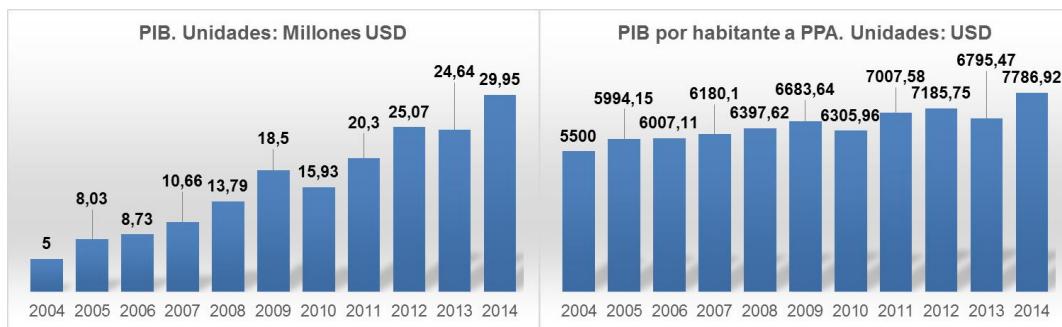
estimación de crecimiento del PIB para Paraguay sigue mostrando un ritmo estable de expansión de la economía, en torno al 3,2%.

La industria se reparte principalmente en los rubros dedicados a productos forestales y del agro-aceite, yerba mate, tabaco, soja, maíz, trigo, derivados de mandioca, azúcar, textiles, frigoríficos, cemento y cal. Asimismo existe la industria de la maquila.

Paraguay es un importante productor de energía y cuenta con dos grandes plantas hidroeléctricas, la Binacional Itaipú compartida con Brasil, en el Departamento de Alto Paraná, con 14.000 Mw de potencia y una producción media anual de 630 Gwh (AQUASTAT, 2017). Esta central es considerada la segunda de mayor producción del mundo y la Binacional Yacyretá en el Departamento de Misiones, junto con Argentina, ocupa el décimo segundo puesto.

Se muestran a continuación la distribución del PIB/año y el reparto del mismo por sectores (Figura 9 y Tabla 1).

Figura 9 - Indicadores económicos de Paraguay: PIB y PIB por habitante 2004-2014



Fuente: World Development Indicators, 2017.

Tabla 1 - Aportación al PIB por sectores para el 2013
Expresado en porcentaje

Primario		Secundario			Terciario
Agricultura	Ganadería forestal y pesca	Minería e industria manufacturera	Electricidad y agua	Construcción	Servicios
19,91 %	6,60 %	10,92 %	12,88 %	3,64 %	46,05

Fuente: World Development Indicators, 2017.

1.3.6 Masas Forestales y estado del sector forestal

Las masas forestales de Paraguay son formaciones de arbolado que, en determinadas ocasiones, pueden generar beneficios económicos para las comunidades.

La contribución del sector forestal a la economía nacional tenía, en décadas pasadas, una gran relevancia hasta el punto que superaba en importancia al sector agrícola. Sin embargo, desde la década de los 70, se ha producido un expansivo crecimiento de la frontera agrícola del país a expensas de los bosques (INFONA, 2011).

Según el mapa de cobertura forestal del Instituto Forestal Nacional (INFONA) de Paraguay del 2011, en el país había una superficie de 2.607.420 has en la Región Oriental y 14.015.967 has en la Región Occidental que representa 40,9% de la superficie del territorio nacional (Tabla 2).

Tabla 2 - Superficies forestales del país
Expresado en hectáreas

Región	Superficie (has)	Porcentaje (Bosque)	Porcentaje (País)
Oriental	2.607.420	15,7	6,4
Occidental	14.015.967	84,3	34,5
Total	16.623.387	100	40,9

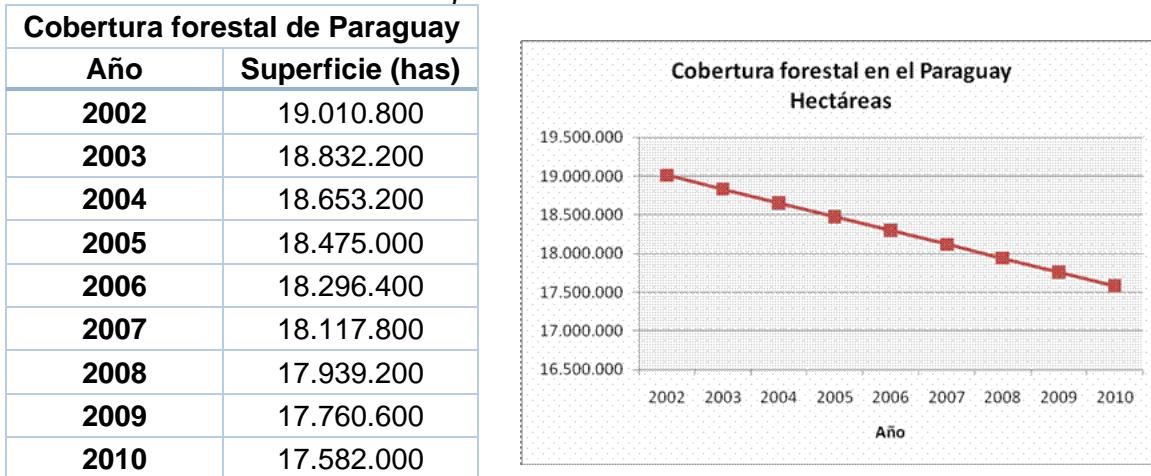
Fuente: INFONA, 2014.

La situación forestal actual del Paraguay sufre de grandes pérdidas de superficies boscosas, lo que ha llevado a poner en serio riesgo, en el corto plazo, el abastecimiento de madera para industrias forestales locales y para la exportación.

Se estima que entre 1990 y 1996 la tasa de deforestación anual alcanzó alrededor del 2,6% (INFONA, 2011), la más alta de América del Sur y una de las más importantes de Latinoamérica, sólo superada por Jamaica, República Dominicana y Costa Rica.

Los datos presentados a continuación en la Tabla 3 ilustran el grado de deforestación que ha sufrido Paraguay entre el periodo de 2002 a 2010, según datos obtenidos por la FAO de 2014.

Tabla 3 - Cobertura Forestal de Paraguay
Representado en hectáreas



Fuente: FAO, 2014.

Los bosques altos y bajos naturales, bosques artificiales y sistemas agroforestales son importantes para el comercio y a nivel económico. La industria maderera del país se caracteriza por el procesamiento primario (aserradero y laminadora), además del procesamiento secundario, es decir, elaboración de muebles, pisos, y otros productos.

Paraguay tiene la posibilidad de aprovechar su potencial para el desarrollo del sector forestal, no solamente para la producción y consumo tradicional de la madera, sino también para el aprovechamiento de la biomasa forestal y producción de biocombustibles. Se podrían generar puestos de trabajo, ahorro en divisas por la sustitución de importaciones, y una serie de beneficios ambientales. Actualmente, esta situación beneficiosa no es la realidad del país (IICA, 2014).

En los últimos 40 años, el sector forestal paraguayo ha sido uno de los pilares de la economía del país a través de un sistema de producción meramente extractivo. Debido a problemas normativos y de mercado y cultura de producción, las tasas de deforestación en las décadas de los ochenta y noventa han sido las más altas de América del Sur. Los problemas de mercado estaban relacionados principalmente a usos alternativos del recurso de tierras con mayor rentabilidad que la actividad forestal (FAO, 2012).

El bosque paraguayo tiene una alta capacidad de regeneración dado que los árboles maduros de las especies útiles tienen la función de semilleros que inducen a la regeneración del bosque. Según la experiencia del Proyecto de Manejo Sostenible de Recursos Naturales (PMNR), la mayoría de los bosques nativos en Paraguay no necesitan ser enriquecidos, ya que tienen un gran potencial de regeneración natural (MAG, 2010).

2. Metodología

Se define el riesgo como la probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas como resultado de una amenaza sobre una zona expuesta a la misma durante un periodo de tiempo determinado (Schneiderbauer y Ehrlich, 2004). Por lo tanto, el riesgo (R) es función de la probabilidad de ocurrencia de esa amenaza, de la exposición de los elementos objeto de estudio y de la vulnerabilidad de los mismos. La figura siguiente muestra este marco conceptual para el cálculo del riesgo:

$$\text{RIESGO} = \text{AMENAZA} \times \text{EXPOSICIÓN} \times \text{VULNERABILIDAD}$$

A continuación, se listan y definen los componentes del riesgo, siguiendo y/o adaptando las definiciones de la *Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastres (UNISDR) actualizadas en la Asamblea General de Naciones Unidas en 2016*⁴:

- Riesgo de desastres: Posibilidad de que se produzcan muertes, lesiones o destrucción daños en bienes en un sistema, una sociedad o una comunidad en un período de tiempo concreto, determinados de forma probabilística como una función de la amenaza, la exposición, la vulnerabilidad y la capacidad..
- Amenaza: Proceso, fenómeno o actividad humana que puede ocasionar muertes, lesiones u otros efectos en la salud, daños a los bienes, disruptores sociales y económicas o daños ambientales.
- Exposición: Situación en que se encuentran las personas, las infraestructuras, las viviendas, las capacidades de producción y otros activos humanos tangibles situados en zonas expuestas a amenazas.
- Vulnerabilidad: Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una persona, una comunidad, los bienes o los sistemas a los efectos de las amenazas.

⁴ https://www.preventionweb.net/files/50683_oiewgreportspanish.pdf.

Con respecto al análisis de vulnerabilidad, se han considerado las consecuencias de estos impactos negativos en daños y/o en pérdidas. Los “daños” se han valorado como daño directo o como el costo para la operación de la situación de emergencia. Por otro lado, la pérdida responde al cese de la actividad económica atribuible a cualquiera de las amenazas analizadas.

Los modelos de superficie terrestre (*Land Surface Models, LSM*) o modelos hidrológicos de gran escala son una importante herramienta para la reconstrucción y análisis global de las amenazas. Para el estudio de la amenaza por inundación y sequía se ha escogido el modelo *Variable Infiltration Capacity (VIC)* (Liang et al., 1994; Cherkauer et al., 2003).

La elección de este modelo está condicionado por la disponibilidad de las simulaciones de los procesos hidrológicos validados a nivel mundial. Se trata de un modelo de macro escala que permite reproducir los caudales en grandes ríos continentales (Nijssen et al., 1997) que ha sido aplicado en grandes cuencas como la del río Mekong (sudeste asiático), en el río Columbia y en la zona noroeste del Pacífico en Norte América entre otros. Como modelo de *routing* asociado al modelo VIC, se ha seleccionado el *Catchment-based Macro-scale Floodplain Model (CaMa-Flood)*(Yamazaki et al., 2011).

El modelo utilizado para la estimación de la amenaza de sequía ha sido el índice de sequía VIC dada la disponibilidad de los parámetros que definen la sequía a nivel mundial en un visor de monitoreo y predicción de la Universidad de Princeton, así como por la amplia aplicación del mismo a nivel global (Sheffield et al., 2004).

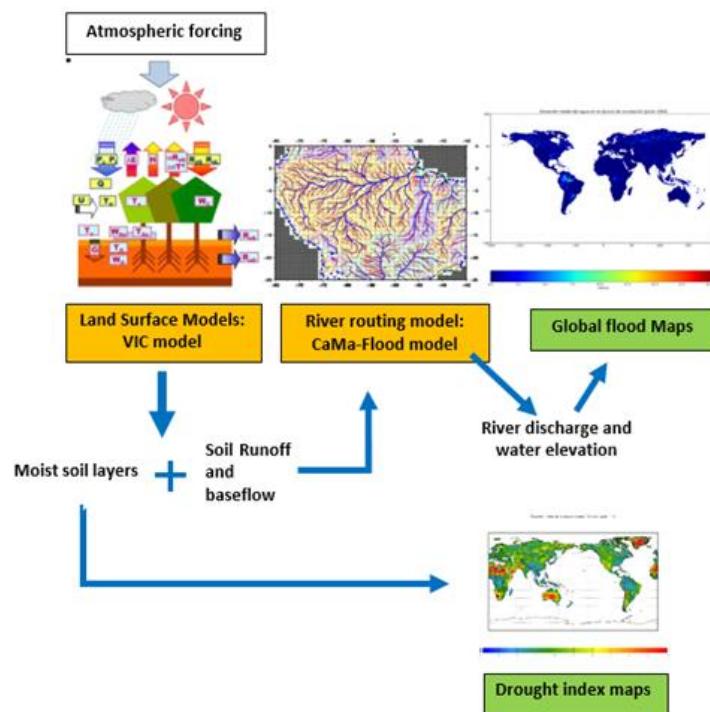
A continuación, en la

Figura 10, se presenta un esquema de aplicación de los modelos que resume la metodología para la obtención de la inundación y la sequía. La metodología de trabajo completa y detallada se encuentra descrita en el Anexo B.

El cálculo del riesgo se ha basado en una metodología probabilística que hace uso de modelos numéricos deterministas (VIC y CaMa-Flood). El primer paso ha consistido en generar series históricas reconstruidas mediante simulación de procesos hidrológicos, utilizando el modelo VIC. Estas series abarcan el periodo 1950-2013. El siguiente paso permite reproducir los fenómenos de inundación a partir del modelo CaMa-Flood transformando las series hidrológicas históricas en series históricas de cota de inundación. Conocidas las series de

altura de inundación, se dispone en esta etapa de datos históricos de la amenaza por inundación. Por último, mediante la información de exposición y aplicando las curvas de vulnerabilidad (explicadas más adelante), se han transformado en series históricas reconstruidas de daños. El análisis de valores extremos aplicado a las series históricas de daño produce como resultados los valores asociados a distintos períodos de retorno con los que se caracteriza la ley de probabilidad del daño actual y futuro. Es decir, se ha caracterizado el régimen estocástico⁵, la estadística completa, del daño en base a toda la historia de la serie temporal del daño y no tan sólo mediante la generación de escenarios probabilísticos sintéticos.

Figura 10 - Esquema general de la metodología para analizar las amenazas de sequía e inundación



Fuente: Elaboración propia.

⁵ Según la Real Academia Española, estocástico es la teoría estadística de los procesos cuya evolución en el tiempo es aleatoria, tal como la secuencia de las tiradas de un dado.

Por su parte, la caracterización del riesgo por incendio forestal en la República del Paraguay se ha basado en modelos raster multivariante⁶ mediante el uso de sistemas de información geográfica. En comparación con las otras dos amenazas evaluadas en este estudio, los incendios tienen la particularidad antropogénica predominante en su origen, lo que conlleva que no se puedan evaluar directamente de acuerdo con los métodos probabilísticos habituales en base a períodos de recurrencia estimados. Sin embargo, el enfoque desarrollado para evaluar esta amenaza se basa en una adaptación del análisis de evaluación de susceptibilidad territorial de riesgo de incendio desarrollado en países como España, por ejemplo, el Plan Infoca⁷, combinado con la definición de los otros factores de la ecuación de riesgo, es decir, valor expuesto y vulnerabilidad, y la huella de incendios registrados en la década 2001-2010 para elaborar dos valoraciones complementarias del riesgo, concretamente:

- Susceptibilidad cualitativa de incendio, que podría ser usado en la elaboración de futuras políticas de gestión forestal y contra incendios, y
- Riesgo cuantitativo promedio anual centrado en el valor de las masas forestales maderables que el país posee.

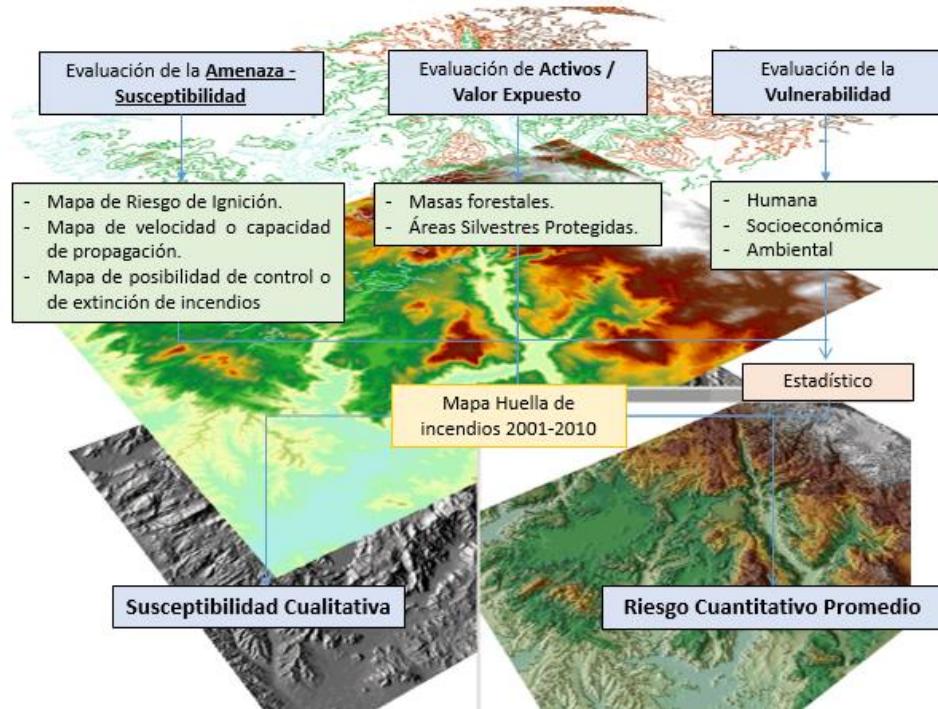
Es importante destacar que el nivel de detalle y precisión que se muestra en este estudio respecto a los incendios forestales, está basado principalmente en el corto registro de los mismos de los que se dispone en el país.

La Figura 11, presenta el esquema global de trabajo diseñado para la evaluación de riesgo por incendios forestales en Paraguay en la que se destacan los conceptos de estudio mencionados, la susceptibilidad de incendio, el valor expuesto y la vulnerabilidad en sus distintas vertientes. La metodología de trabajo completa y detallada se encuentra descrita en el Anexo B.

⁶ El análisis raster multivariante se define como un conjunto de métodos estadísticos y matemáticos combinado con álgebra de mapas utilizadopara determinar la contribución de varios factores en un simple evento o resultado.

⁷ El Plan Infoca garantiza la protección del medio natural frente a incendios, gracias a una extensa red de instalaciones, recursos terrestres y aéreos que se movilizan de forma automática cada vez que se produce algún incendio forestal en la región de Andalucía.

Figura 11 - Representación esquemática del proceso metodológico de evaluación de riesgos por incendio forestal



Fuente: Elaboración propia.

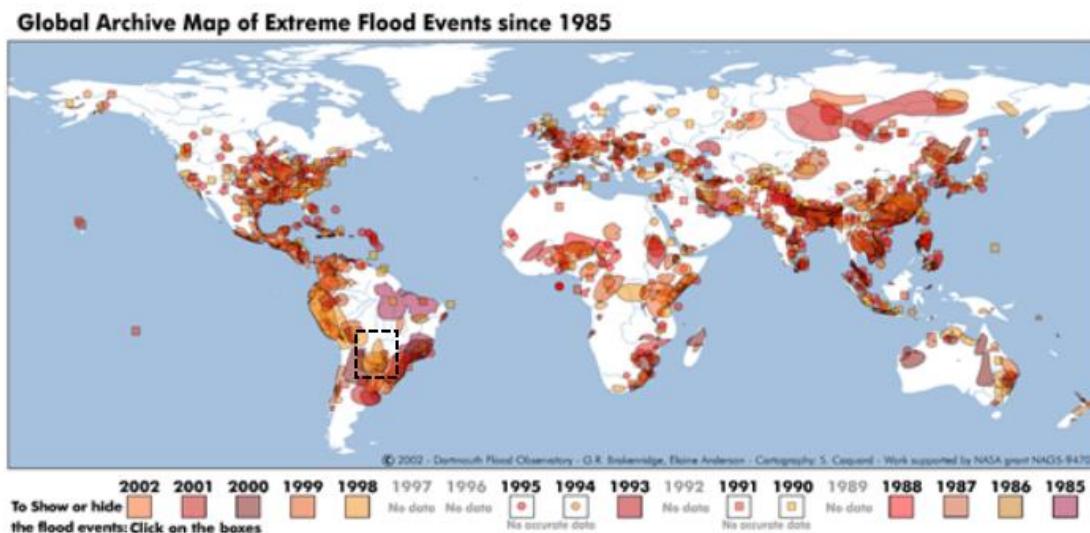
3. Evaluación de la Amenaza

3.1 Descripción de las amenazas

Son innumerables las crisis que se producen a nivel global debido a amenazas como: terremotos, inundaciones, huracanes y sequías. Fenómenos que además del coste económico que conllevan, también producen un importante coste humano. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), insiste en que el calentamiento global implica que se incremente la variabilidad del clima, lo que incrementará el riesgo de eventos extremos de inundación y sequía (Wetherald y Manabe, 2002, Tabla SPM2 en IPCC, 2007), y posiblemente de forma indirecta el de incendios forestales.

Analizando el registro de eventos de inundación elaborado por el *Dartmouth Flood Observatory* (Figura 12), puede verse como en Paraguay se concentran un gran número de estos eventos para el periodo de estudio 1985-2002.

Figura 12 - Mapa global sobre eventos extremos de inundación desde 1985-2002

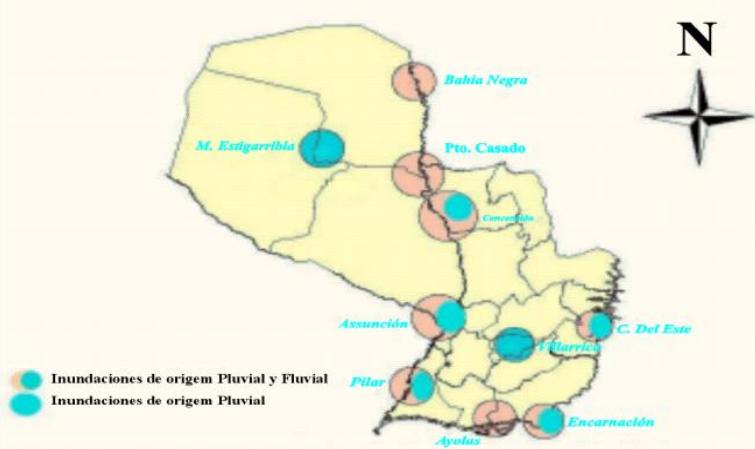


Fuente: Dartmouth Flood Observatory, 2017.

En Paraguay existen dos tipos de inundaciones principales: las ribereñas debidas a las crecidas estacionales y extraordinarias de los grandes ríos, Paraná, Paraguay y Pilcomayo, y las pluviales urbanas, debido a precipitaciones intensas localizadas (Domecq et al., 2005) según se observa en la Figura 13. Este tipo de inundaciones no solo afectan a la economía

regional, sino que producen inundaciones en campos de cultivo, interrupción de vías de comunicación, aislamiento total o parcial de ciertas zonas, etc. Se suelen producirse en abril, mayo, junio y julio, el periodo más húmedo. En cambio, el periodo entre agosto y marzo es la época seca.

Figura 13 - Zonas afectadas por inundación ribereña o pluvial en Paraguay



Fuente: Domecq et al., 2005.

La República del Paraguay, además de sufrir eventos de inundación frecuentes, también ha tenido, a lo largo de los años, eventos de sequía producida por un déficit hídrico (sequía meteorológica). Se trata de periodos con escasez de agua debido a una reducción de precipitaciones, lo que afecta directamente a la población, a los cultivos, la navegación fluvial, la generación hidroeléctrica, y por tanto a la economía. La economía de Paraguay está basada en buena parte en la agricultura y ganadería (Tabla 1) que la hace más vulnerable a sequías.

El efecto de la Niña como la fase fría de la oscilación del Niño Oscilación del Sur (ENSO), implica una reducción de lluvias en el norte de Argentina, el sur de Brasil y el sureste de Paraguay provocando épocas con escasez de lluvia y por tanto épocas más secas en el país.

En cuanto a los incendios forestales, las quemas constituyen una de las herramientas más empleadas en el manejo de pasturas, limpieza de campos, la caza furtiva, entre otros, de tal forma que son una de las causas principales de generación de incendios. Según el Plan Nacional de Uso Del Fuego 2012–2016 de Paraguay, las quemas se realizan durante todos los meses del año, incrementándose en julio con picos máximos entre la última semana de agosto y primera quincena de septiembre, es decir, a lo largo del invierno austral. En el periodo

2001-2010 se detectaron 41.959 focos de calor y una superficie quemada de unas 21,5 millones de hectáreas⁸.

Los años de mayor ocurrencia fueron 2001, 2002, 2005 y 2009, si bien destaca sobre todos estos el año 2007, que es considerado el de mayor magnitud de incendios en el que incluso la plataforma DESINVENTAR dispone de los registros más detallados respecto a hectáreas y personas afectadas. Ese año se alcanzó un pico máximo de superficie quemada de 3.844.562 hectáreas (Borrador del Plan Nacional de Uso del Fuego Paraguay 2012 -2016).

Según este documento, el impacto de los incendios en el país está probablemente asociado a la ocurrencia de la Niña y el factor humano, como previamente indicado, asociado a distintas prácticas de carácter histórico de la población.

No obstante, a este respecto cabe indicar que se ha realizado una comparación de los registros de huella de incendio mencionados con los de temperaturas oceanográficas publicados por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA)⁹ sin que se haya podido identificar un patrón claro de incremento o disminución de incidencia de superficie quemada en función de los efectos asociados a El Niño o La Niña. Por tanto, la acción humana predomina sobre las tendencias climatológicas de un año concreto.

3.2 Evaluación de amenaza por inundación

3.2.1 Caracterización de la amenaza por inundación

Para el análisis de la amenaza por inundación se ha aplicado, como se ha comentado en el apartado de metodología, el modelo VIC. Éste es un modelo determinista, de código abierto, desarrollado originalmente por la Universidad de Washington. En su desarrollo ha colaborado la Universidad de Princeton.

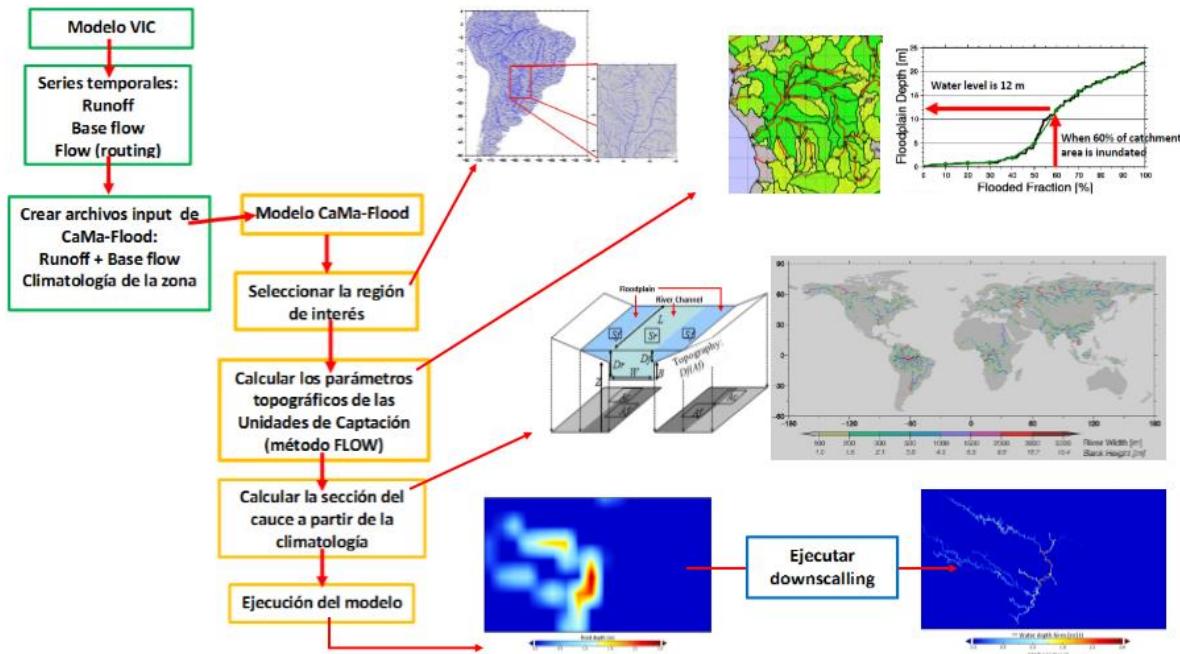
⁸ Fuente: Atlas de Riesgos de Desastres de la República de Paraguay.

⁹ http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

VIC es capaz de proveer predicciones de humedad del suelo y otras variables hidrológicas a gran escala así como crear largas series temporales, en el caso de no haber mediciones directas de estas variables.

El modelo VIC necesita un post-procesado de sus *outputs* con el denominado *routing model* (Figura 14) encauzando la escorrentía hacia el punto de salida de cada celda y posteriormente por toda la red fluvial. El modelo de enrutamiento seleccionado ha sido el modelo CaMa-Flood (Yamazaki et al., 2011), que es un modelo de *routing* que produce datos de escorrentía y flujo base de los *Land Surface Models* (LSMs) en este caso del modelo VIC. Permite obtener la descarga de los ríos y también la elevación del agua tanto en el cauce del río como en la llanura de inundación anexa a éste. Tanto el modelo hidrológico como el de enrutamiento permiten realizar el análisis de forma probabilista (y no susceptible).

Figura 14 - Esquema de la metodología empleada para evaluar la inundación



Para caracterizar la inundación, es necesario conocer la elevación del agua en la zona inundada. Por ello se ha aplicado el modelo CaMa-Flood. La resolución espacial es de 0,25° y la escala temporal es diaria ya que los eventos de inundación se caracterizan por tener una duración inferior a los de sequía. La inundación se ha evaluado en Paraguay a partir de la elevación de agua y el porcentaje de área inundada. Se estima la crecida asociada a un periodo de retorno de 500 años. A través del *downscaling* se obtienen los resultados de detalle a nivel de región según se observa en el esquema de la Figura 14.

3.2.2 Eventos históricos de inundación

Para la recopilación de eventos históricos acontecidos se han consultado varias fuentes de datos. La primera fuente de información ha sido la plataforma DESINVENTAR (www.desinventar.org) que, hasta febrero de 2015, contaba con unos 6.800 registros sobre las amenazas de interés de este análisis, entre los cuales habían duplicados, lo que significa que el número de registros no corresponde directamente con el número de eventos que generaron daños y pérdidas en el país a lo largo del periodo 1997-2013.

De estos registros unos 1.370 aludían a inundaciones fluviales. Si bien, un análisis más profundo y agrupación de los mismos indicó que el conjunto se concernía a 125 localizaciones temporales repartidas por las diferentes cuencas fluviales del país, que a su vez se han agrupado en unos 45 eventos aparentemente diferenciables de inundación. Hay que decir, que en los primeros años la información revisada es más condensada y está clasificada a nivel departamento, además de ser más detallada respecto a los daños causados por los distintos eventos, mientras que en los últimos años, la información se desagrega a nivel de distrito pero limitando los daños al número de personas afectadas. El resumen de la ordenación y agrupación de estos eventos se encuentra en el Anexo A (apartado 1.1), junto a un resumen de la recopilación bibliográfica de cotas de inundación alcanzadas históricamente en distintas cuencas del país.

Por otro lado se han consultado imágenes capturadas por diarios de la época en las que se muestra información de las alturas alcanzadas por los ríos para validar las medidas recogidas en la plataforma DESINVENTAR. La fuente principal de esta base de datos son los diarios nacionales, registrando sobre todo los pequeños desastres a nivel local. Pese a las limitaciones de esta fuente, es una buena referencia para comprender la dinámica de los

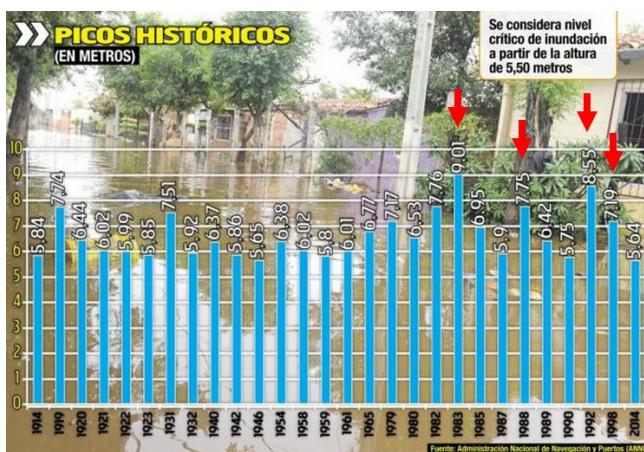
eventos del país. A su vez, se dispone de la base de datos del *International Disaster Database* (EM-DAT) relativos a las emergencias en Paraguay. Esta plataforma registra eventos producidos desde el año 1900 al 2016. No obstante, en lo que respecta a la amenaza por inundación, se han registrado un total de 14 eventos en los años 1983, 1998 y 2015. Adicionalmente se incluye un evento de tormentas del año 1997. Cabe mencionar que este inventario no dispone de suficiente información sobre eventos de inundación, y por ello no se han utilizado éstos registros durante la fase de calibración y validación.

Las crecidas extraordinarias del río Paraná, que bordea al país por su extremo este y sureste, en la frontera con Brasil y Argentina, constituyen fenómenos de gran envergadura que producen consecuencias significativas sobre las áreas circundantes a los cursos del agua. Desde la década de 1960, y sobre todo la de 1980, los máximos caudales anuales del río Paraná se han incrementado respecto al periodo anterior. Además ha aumentado la frecuencia de las crecidas extraordinarias: de las cuatro crecidas registradas con caudales pico mayores a 50.000 m³/s (1905, 1983, 1992, 1998). Tres se produjeron en los últimos 20 años del siglo XX (Goniadzki and Borús, 2009).

En la Figura 15 se recogen los picos históricos del río Paraguay en la capital, Asunción, publicados por el diario ABC-color (2014).

Debido a que el periodo de estudio en el que se ha simulado la inundación comprende desde 1950 hasta el año 2013, se han escogido los cuatro picos mayores de este periodo para hacer la validación.

Figura 15 - Picos históricos registrados en Puerto Asunción, Paraguay



Fuente: ABC-Color, 2014.

Por tanto, los eventos registrados con los que se ha validado el modelo son:

- Año 1983, cota máxima del río alcanzada en Asunción es de 9,01 metros.
- Año 1988 se alcanzaron 7,75 metros.
- Año 1992 se alcanzaron los 8,55 metros.
- Año 1998 se alcanzaron los 7,19 metros.

Validación

Céspedes y Ríos (1985) indican los niveles máximos alcanzados en las inundaciones de 1983, un año especialmente crítico ya que hubo inundaciones todo el año. El pico de la inundación de 1983 fue el día 31 de mayo con una cota máxima del río en Puerto Asunción de 9,01 metros, lo que concuerda con los datos anteriores publicados por el diario ABC color (2014).

Se indica también que el calado normal sin inundación es de 4,8 metros (calado normal del río cuando está dentro de su cauce), valor que se emplea en la validación de las elevaciones del agua en las llanuras de inundación obtenidas con el programa, ya que éstos son valores de crecidas, no nivel total del río. A todos ellos se les suma el nivel normal sin inundación para poder estimar la altura hidrométrica final del cauce en cada instante.

Además de hacer una comparación entre las cotas hidrométricas medidas y las obtenidas con el modelo, se comparan los percentiles de estas cotas. Se calcula el percentil de la cota obtenida con el modelo en relación con la serie temporal obtenida y el percentil de la cota observada en relación a la serie temporal de máximos. La serie de máximos se ha ajustado siguiendo un método de extremos de picos por encima del umbral (*peaks over threshold*) POT (Pareto-Poisson)¹⁰.

Año 1983

Se muestra una imagen de la inundación del 31 de mayo simulada con CaMa-Flood. Hay que tener en cuenta que se trata de la elevación del agua en las llanuras de inundación, es decir, por encima del borde del río. Por tanto, hay que sumarle el nivel medio normal sin inundación que es de 4,8 metros como ya se ha comentado. Se muestra en las siguientes tablas el

¹⁰ El método POT se basa en suponer que los máximos que superan un cierto umbral y que están separados por un cierto intervalo de tiempo (normalmente de dos a cuatro días) son independientes entre sí.

percentil de los valores medidos y simulados, el cual representa el percentil que ocupa dentro de la distribución de máximos de la serie considerada (Tabla 4).

Tabla 4 - Resultado de las simulaciones con el modelo CaMa-Flood el 31 de Mayo de 1983

	Medido	Simulado con CaMa-Flood
Altura hidrométrica en Puerto Asunción (m)	9,01	5,86 metros + 4,8 (nivel normal sin inundación) = 10,66 m
Percentil	98,93	99,99

Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar que a pesar de observar el mayor evento registrado, su percentil no es el del 100%. Esto se debe a que las fórmulas con las que se estima la probabilidad empírica (*plotting positions* en inglés), no otorgan una probabilidad de 100% (certeza absoluta) a ningún valor. El percentil se computa usando los datos medidos en otras inundaciones de la serie histórica, o sus correspondientes generados con CaMa-Flood en función de que se compute el percentil de unos u otros.

Cabe deducir que lo simulado con el modelo CaMa-Flood excede en alrededor de metro y medio lo medido en los registros históricos para la fecha; en general una desviación del 15%-20% en la elevación del agua puede ser admisible.

El percentil de la elevación del agua obtenida con el modelo, después del ajuste por el método de extremos, es muy similar al percentil del registro de alturas máximas del río en la fecha de estudio después del ajuste por el método de extremos, lo que indica que ambas series tienen el mismo patrón de máximos.

Observando los resultados obtenidos en la zona de Pilar, se obtienen registros en los que se alcanzaron 10,05 metros el 24 de mayo de 1983, tal y como recoge la siguiente noticia de la Figura 16.

Figura 16 - Noticia del diario digital "Esto es Pilar", del día 24 de Mayo 2013

Este 24 de Mayo se cumplen 30 años de la inundación de Pilar en la gran crecida de 1983.



Fuente: ABC-Color, 2013.

Año 1988

En este año, el *Dartmouth Flood Observatory* recoge el evento de inundación el día 28 de junio de 1988. En la Tabla 5 se adjuntan los valores simulados con el modelo en esa fecha.

Tabla 5 - Resultado de las simulaciones con el modelo CaMa-Flood el 28 de Junio de 1988

Expresado en metros

	Medido	Simulado con CaMa-Flood
Altura hidrométrica en Puerto Asunción (m)	7,75	3,24 metros + 4,8 (nivel normal sin inundación) = 8,04 m
Percentil	96,51	97,20

Fuente: Elaboración propia con datos de la Universidad de Dartmouth.

Lo modelado excede en un 4% lo recogido en el registro histórico en Puerto Asunción durante las inundaciones de 1988. Los percentiles obtenidos tanto en la serie simulada como la serie de máximos históricos son similares.

Año 1992

Un extracto de la noticia presentada en la Figura 17 recoge las inundaciones de Paraguay en 1992 e indica que cerca del 29 de mayo el nivel del río Paraguay deja de crecer.

Figura 17 - Noticia inundación río Paraguay 29 de Mayo de 1992

UNDRO 92/0450

PARAGUAY - FLOODS

DHA/UNDRO SITUATION REPORT NO. 4
29 MAY 1992

SITUATION

PARAGUAY RIVER CONTINUES RISING IN ASUNCION. AREAS BELOW ASSUNCION ARE STILL THREATENED BY FURTHER FLOODING, HOWEVER A DECREASE IS BEING RECORDED AT RIVER'S SOURCE. OVER 12,000 FAMILIES ARE NOW AFFECTED. SIGNIFICANT LOCAL RELIEF SUPPORT IS EVIDENT, ESPECIALLY FROM PRIVATE SECTOR OF ASUNCION, BOTH IN CASH AND IN KIND. CONSTRUCTION MATERIAL, FOOD SUPPLIES, MEDICINES, CLOTHING AND BLANKETS ARE INCLUDED IN THIS LOCAL SUPPORT, WHICH AMOUNTS TO AN ESTIMATED VALUE OF OVER USD 500,000.

CONTRIBUTIONS (REPORTED TO DHA-UNDRO SINCE SITREP NO.3 OF 21 MAY)

Fuente: Reliefweb, 2017.

En este caso el modelo reproduce mejor el nivel del agua en la zona de Asunción en las inundaciones de 1992 (Tabla 6). El dato histórico es de 8,55 metros y el modelado con el programa es de 8,61 metros para el día 29 de mayo de 1992. Los percentiles de ambos son también muy similares.

Tabla 6 - Resultado de las simulaciones con el modelo CaMa-Flood el 29 de Mayo de 1992

Expresado en metros

	Medido	Simulado con CaMa-Flood
Altura hidrométrica en Puerto Asunción (m)	8,55	3,81 metros + 4,8 (nivel normal sin inundación) = 8,61 m
Percentil	98,30	98,20

Fuente: Elaboración propia.

Año 1998

En el año 1998 se recogen eventos de inundación durante mayo y junio según se detalla en la noticia presentada en la Figura 18.

Figura 18 - Recorte de prensa sobre inundaciones en Mayo/Junio de 1998 en Paraguay

EL NINO - FORECAST

6. Rains have now stopped in some regions, in particular in the northern part of the country. Nevertheless, according to meteorological studies prepared by the "Mercado Común del Cono Sur"(MERCOSUR), and Paraguay's hidrometeorological historical data, if the unusual weather conditions caused by the El Niño phenomenon continue to prevail, flooding will reach its peak by May/June 1998.

Fuente: Reliefweb, 2017.

En la inundación del año 1998, el máximo medido en Puerto Asunción fue de 7,19 metros. En artículos periodísticos se recoge que las inundaciones ocurrieron en Mayo/Junio de 1998 (Tabla 7). El modelo indica que el 30 de Abril de 1998 la altura hidrométrica del río fue de 7,11 metros. Los percentiles calculados para cada valor son también muy similares.

Tabla 7 - Resultado de las simulaciones con el modelo CaMa-Flood el 30 de Abril de 1998

	Medido	Simulado con CaMa-Flood
Altura hidrométrica en Puerto Asunción (m)	7,19	2,31 metros + 4,8 (nivel normal sin inundación) = 7,11 m
Percentil	92,41	92,30

Fuente: Elaboración propia.

Se puede concluir que los resultados de la validación son admisibles tanto en magnitud de la crecida como en la comparación de los percentiles. Por un lado, se admite una desviación de un 15% en la magnitud de la crecida ya que se está comparando un dato obtenido con el modelo CaMa-Flood a una resolución más gruesa que el dato observado medido en una localización puntual. Por otro lado, los percentiles son muy similares en todos los casos, lo que indica que se está ante el mismo patrón de crecida en ambas series.

En el río Paraná se producen importantes crecidas del río a la altura de Ciudad del Este o Puerto Libertad (Figura 19).

Figura 19 - Registro de alturas hidrométricas en el río Paraná, Puerto Libertad. 2014-Enero 2015



Fuente: Centro de Investigaciones Meteorológicas de la Universidad del Litoral.

En los resultados mostrados con una resolución de 0,25°, se producían crecidas de 19 metros en estas zonas. Puede parecer una elevación del río considerable, pero, si se consultan los datos de alturas hidrométricas del río Paraná registradas por la Universidad del Litoral de Argentina, donde a fecha del 8 de Junio del 2014 el Paraná a la altura de Puerto Libertad tenía una cota de 13,8 metros y pasa a tener 34,7 metros el día 10 de Junio de 2014, que implica una subida de aproximadamente 21 metros, puede decirse que ante eventos extremos esta zona sufre crecidas muy importantes.

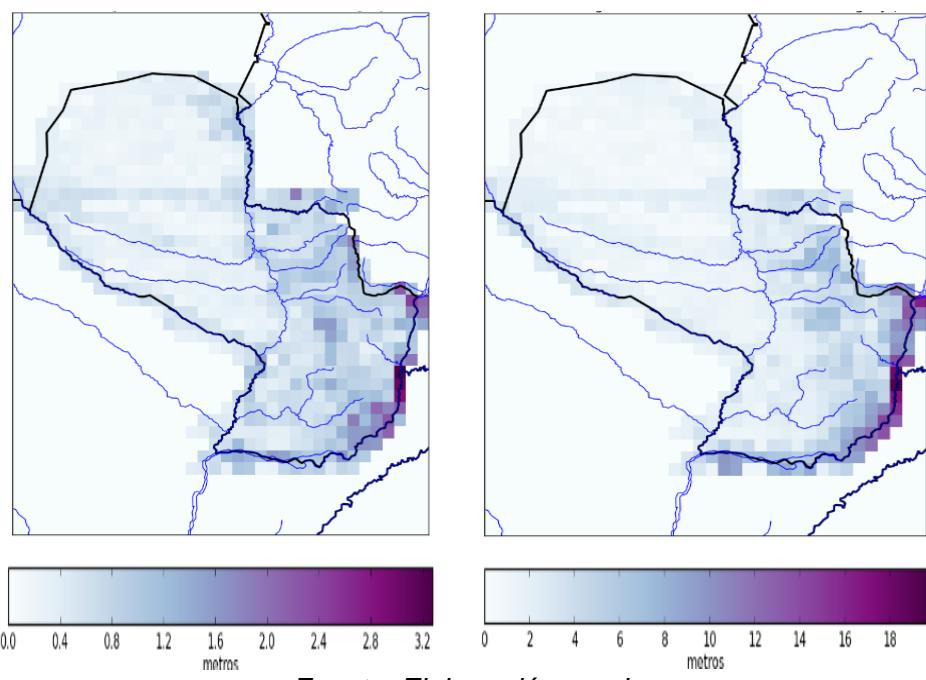
Sin embargo, la modelización detallada del río Paraná requeriría tener en cuenta que, este río no está en su régimen natural al tener dos presas a lo largo de su paso por Paraguay. Esto hace que el régimen del río simulado por el modelo aporte los niveles en su régimen natural sin modificación del mismo por los posibles aportes y detacciones generados por los embalses situados aguas arriba. Dado que no se ha dispuesto de los regímenes de explotación de las presas, la modelización responde a la situación natural de los ríos sin afecciones.

3.2.3 Mapas de amenaza por inundación

Inundación y área inundada en el periodo de estudio

A continuación se muestran los resultados obtenidos para la caracterización de la amenaza por inundación en la República del Paraguay. Se presentan primero las alturas de inundación máximas y medias en el periodo de estudio (Figura 20) así como el porcentaje medio de días al año con más de un metro de agua en la llanura de inundación. Posteriormente se muestran los resultados obtenidos a nivel regional (resolución de $0,25^{\circ}$) de la inundación y porcentaje de área inundada para los distintos períodos de retorno.

Figura 20 - Elevación media (izquierda) y máxima (derecha) del agua en la llanura de inundación. Periodo de estudio 1950-2013. Resolución $0,25^{\circ}$



Fuente: Elaboración propia.

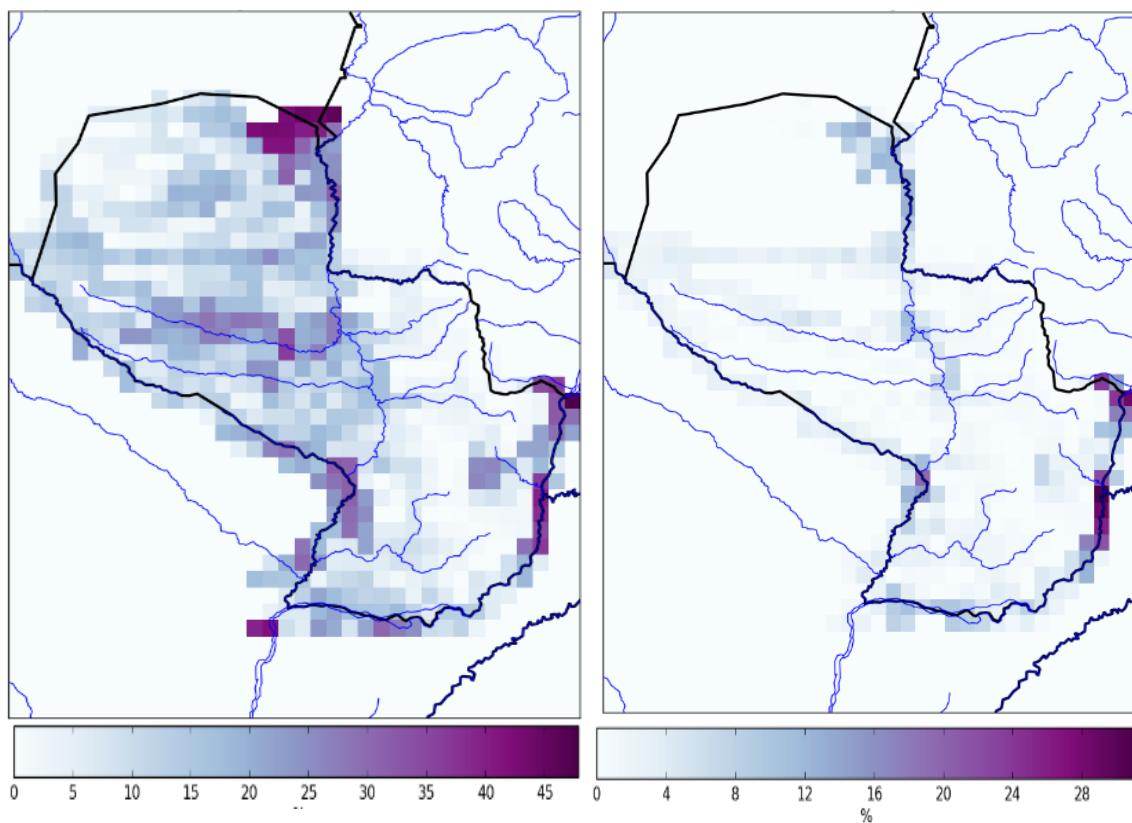
Las imágenes anteriores son la elevación media (figura izquierda) y la elevación máxima (derecha) del agua en la llanura de inundación. La zona con mayor elevación media está sobre el río Paraná con un valor medio de 3,2 metros de agua en las llanuras de inundación para el periodo de estudio 1950-2013. En esta zona se produce la confluencia del río Paraná y el río Iguazú a la altura de Ciudad del Este y al norte en la zona de Saltos de Guairá. El resto de las zonas con mayor elevación media de agua ocurren a lo largo de los ríos Pilcomayo y el

Paraguay que bordean o atraviesan el país. Nuevamente destaca la zona norte-centro del país, en la frontera con Brasil, que corresponde con una parte del Pantanal paraguayo.

Si se analiza la elevación máxima del agua en las llanuras de inundación para el periodo de estudio (Figura 20, derecha), en general las zonas con mayor elevación de agua durante las inundaciones, y para todo el periodo de estudio, se encuentran sobre los ríos: Pilcomayo, Paraguay, Paraná, Montelindo, Verde y Yacaré (en la parte central del Chaco) entre otros. Destaca sobre todo la elevación del agua en el río Paraná donde se pueden dar crecidas de hasta 19 metros en alguna localización dentro de la celda de 0,25°, en zonas cercanas a Ciudad del Este (confluencia río Paraná e Iguazú), y en Saltos de Guairá. Hay que tener en cuenta, como se ha comentado anteriormente, que las simulaciones modeladas en el río Paraná responden al régimen natural del mismo sin considerar el efecto de los embalses. Esta simplificación aporta, no obstante, una aproximación de la realidad. Sin embargo, se ha observado en el proceso de validación, que esta zona es propensa a crecidas de este tipo de magnitudes cuando se producen eventos extremos. Por otro lado, la zona del Pantanal paraguayo, en el centro-norte del país es una de las zonas que más destaca en el país.

En la imagen de la Figura 21 se refleja el porcentaje medio de días al año en el que alguna localización está inundada dentro de las celdas de 0,25°. La zona del Pantanal paraguayo es la que más destaca, en el norte del país en la frontera con Brasil. Es una zona que de media tiene algún tipo de inundación en un 40% de los días del año. Este alto porcentaje refleja que se están produciendo elevaciones en los márgenes y llanuras de las riberas del río generadas por la sobreelevación del nivel medio registrado. En la zona donde confluyen el río Paraná y el río Iguazú, ocurre lo mismo siendo el porcentaje algo menor, un 35% del tiempo presenta algún tipo de desborde. En la zona de Asunción y alrededores, las celdas de 0,25° indican que puede haber entre algún tipo de inundación en alguna localización dentro de cada celda un 20-25% del año.

Figura 21 - Porcentaje medio de días al año con valores de inundación en sus márgenes >0 m (izquierda). Porcentaje medio de días al año con más de un metro de elevación de agua en la llanura de inundación (valores > 1) (derecha)



Fuente: Elaboración propia.

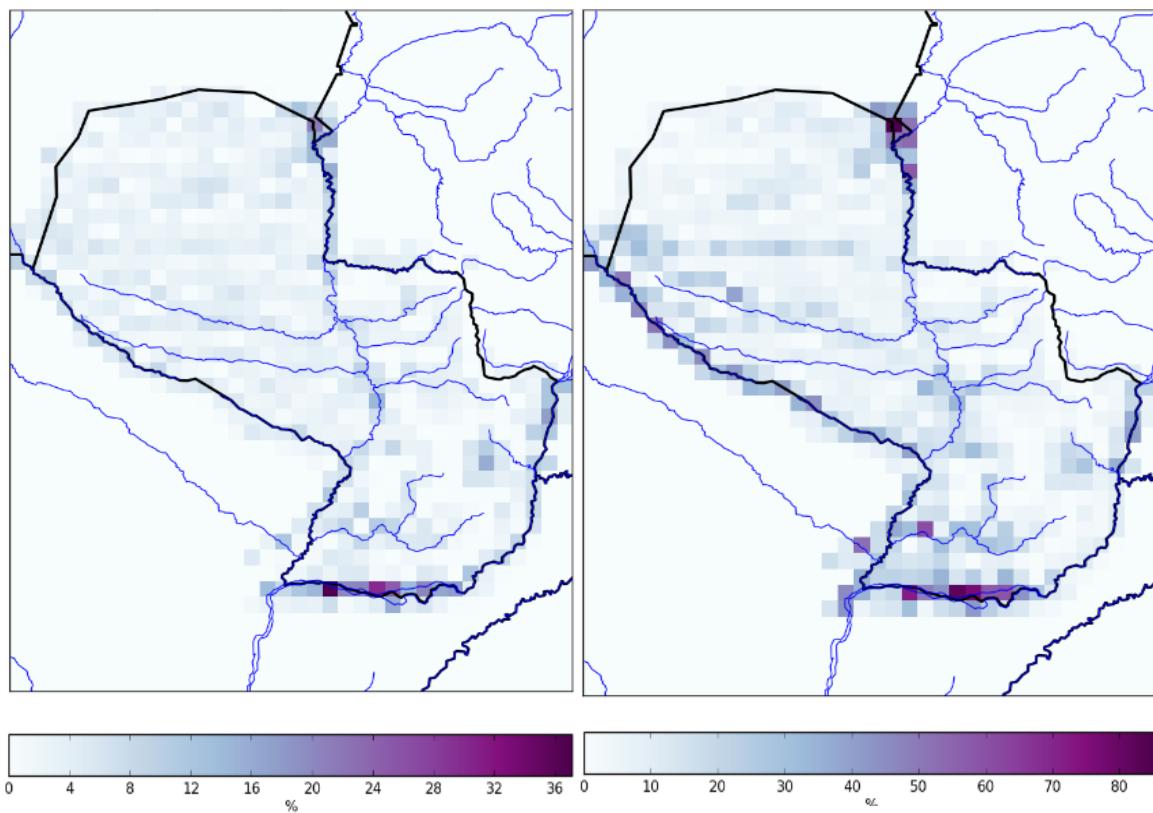
Destacan las llanuras de inundación del río Verde que atraviesa el país de oeste a este desembocando en el río Paraguay. En la zona norte, localizada en la región central del Chaco, se producen inundaciones en el río Yacaré sur, zona donde están las lagunas saladas del Chaco en la reserva natural de Campo María. La zona del Chaco Paraguayo es propensa a inundaciones cuando se dan precipitaciones abundantes debido a que los suelos son secos y poco permeables, además de estar atravesada por múltiples ríos y riachuelos afluentes del río Paraguay.

Si se analiza los días al año en que la elevación del agua en la llanura de inundación supera el metro, las zonas y los días al año se reducen de forma importante (Figura 21, derecha). La zona donde más días al año ocurre esto es la del río Paraná sobre todo en la zona donde confluye con el Iguazú, en Ciudad del Este y más al norte en Saltos de Guairá donde puede darse un 30% del año.

Si se analiza los días al año en que la elevación del agua en la llanura de inundación supera el metro, las zonas y los días al año se reducen de forma importante (Figura 21, derecha). La zona donde más días al año ocurre esto es la del río Paraná sobre todo en la zona donde confluye con el Iguazú, en Ciudad del Este y más al norte en Saltos de Guairá donde puede darse un 30% del año.

La siguiente zona con mayor porcentaje de días en los que se alcanza una elevación de más de 1 metro de agua es el Gran Pantanal paraguayo, el humedal al norte del país, con un porcentaje de entre un 12 y 16% de los días del año. Igualmente, la capital del país, Asunción, presenta de media entre un 12 y 16% de los días del año crecidas de más de 1 metro debido a la confluencia del río Pilcomayo y el río Paraguay. Zonas como las llanuras de inundación del río Verde, el río Yacaré, el río Pilcomayo, el río Paraguay o el río Tebicuary tienen crecidas de más de 1 metro en alguna zona de su curso. Sin embargo, esto no ocurre más de un 4% de los días del año.

Figura 22 - Porcentaje medio (izquierda) y máximo (derecha) de superficie de celda inundada. Resolución 0,25°. Periodo de estudio 1950-2013



Fuente: Elaboración propia.

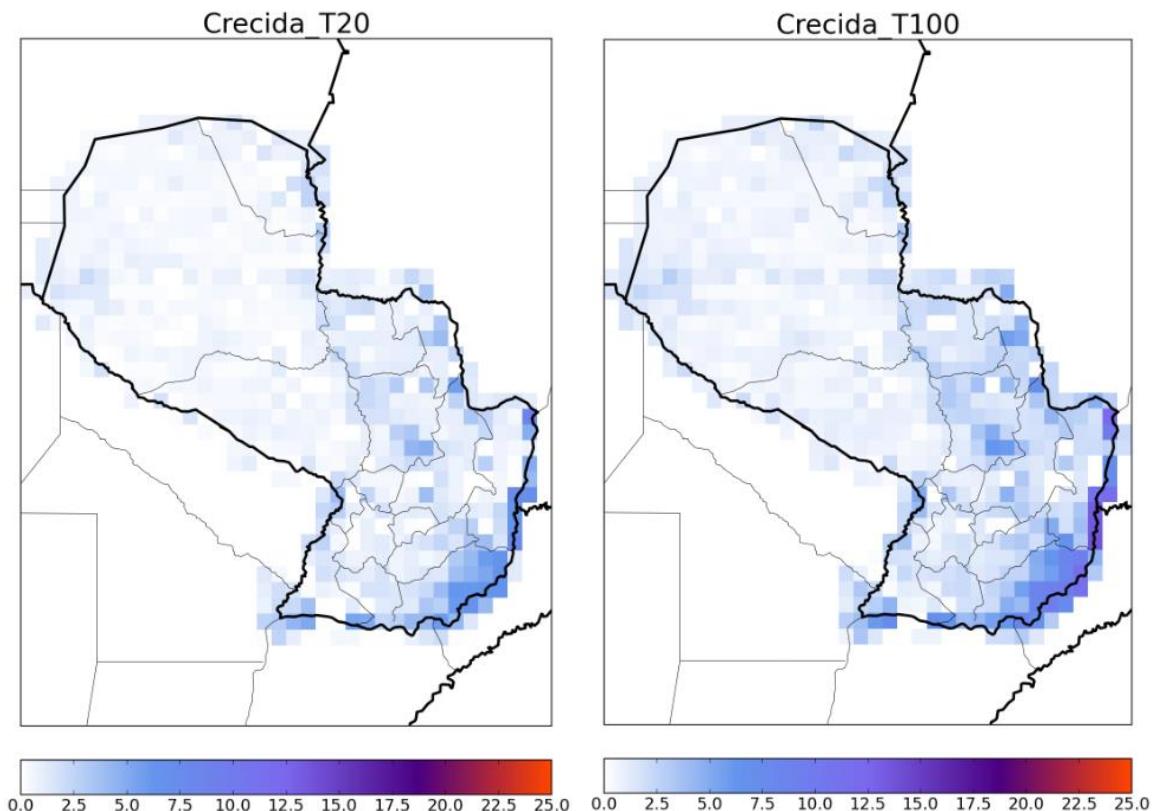
En las anteriores dos imágenes (Figura 22) se muestra el porcentaje medio de superficie inundada (imagen izquierda) y el porcentaje máximo de superficie de celda inundada (imagen derecha) a resolución de 0,25°. La zona con mayor porcentaje medio de área inundada (izquierda) está en el sur del Paraguay, en el río Paraná y en el norte, en el Gran Pantanal paraguayo, el mayor sistema de humedales del mundo. Si se analiza el porcentaje máximo de área inundada de la celda de 0,25° para todo el periodo de estudio (Figura 22, derecha), la zona sur del país, a lo largo del curso del río Paraná, está inundada en torno al 70% de la celda en durante el periodo de estudio (se entiende como inundación con valor mayor a cero). Toda la zona del río Pilcomayo presenta entre un máximo de 30-40% de superficie inundada. El Pantanal paraguayo, al norte, tiene un porcentaje máximo de 70-80% de la superficie de la celda de 0,25° inundada. El río Tebicuary, afluente del Paraguay en la parte sureste del país, tiene en alguna zona un máximo del 50% de área de la celda inundada.

Inundación y área inundada asociada a un periodo de retorno

En este apartado se presentan los resultados del análisis de valores extremos de la inundación simulada en el estudio para la zona asociada a diferentes periodos de retorno. Con ello se pretende obtener la inundación asociada a las probabilidades de los periodos de retorno de 100 y/o 500 años a partir del registro de inundaciones obtenido en este estudio de 1950-2013. Es importante reiterar que no se utilizan escenarios sintéticos, sino que el régimen extremo y el análisis probabilista se llevan a cabo a partir de la serie histórica reconstruida mediante el uso de modelos numéricos. En este caso se ha empleado el ajuste de la Distribución Pareto Generalizada (GPD), ya que se han analizado las excedencias sobre un umbral. Se obtienen así la inundación y el porcentaje de área inundada asociados a los periodos de retorno de 10, 20, 50, 100 y 500 años. En este apartado se recogen los periodos de 20 y 100 años, el resto de periodos se adjuntan en el Anexo C - Descripción de las amenazas.

Se presentan a continuación, los resultados obtenidos para la variable elevación de agua en la llanura de inundación, es decir, la magnitud de la crecida asociada a los distintos periodos de retorno escogidos, 20 y 100 años. En este caso, puede verse como en la zona de Ciudad del Este pueden producirse crecidas de hasta 25 metros donde el río Paraná confluye con el Iguazú. También se producen crecidas importantes en la zona de Saltos de Guairá (Figura 23).

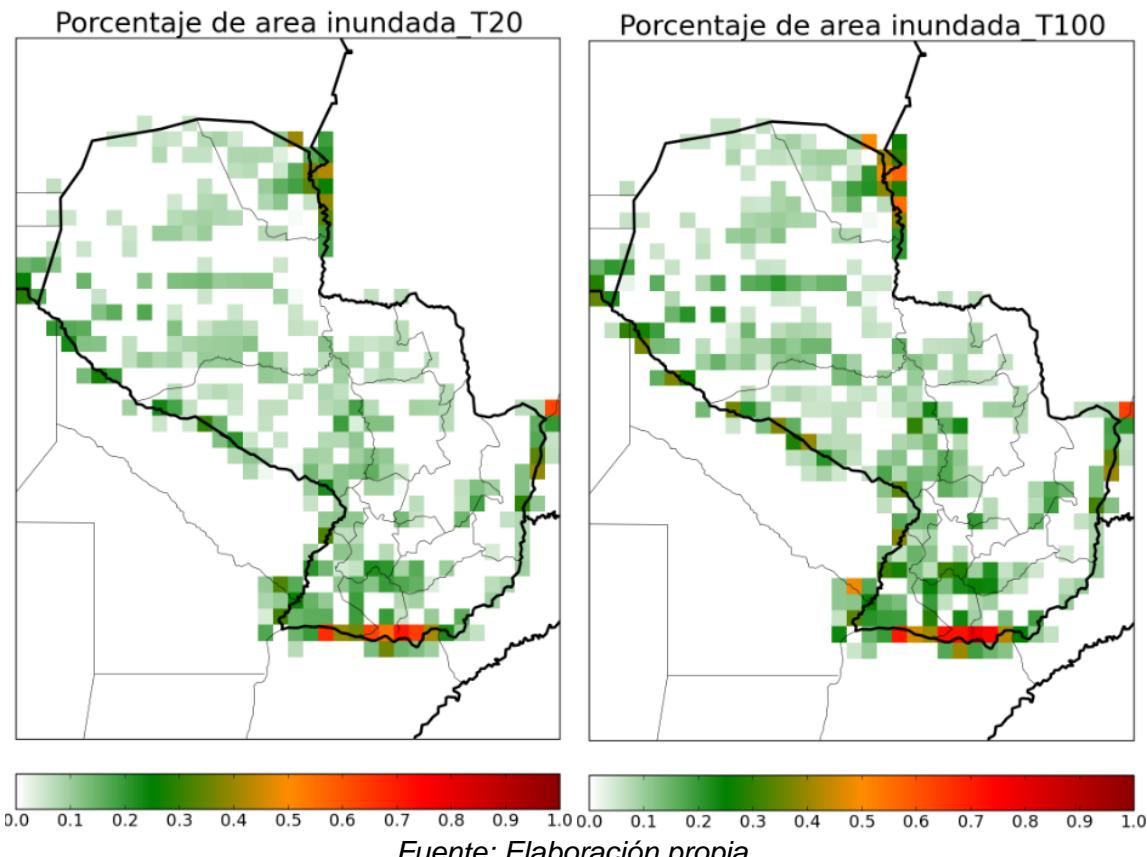
Figura 23 - Crecida asociada a períodos de retorno de 20, y 100 años. Unidades en metros. Resolución 0,25°



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se ha analizado el porcentaje de área inundada asociada a los períodos de retorno escogidos, en este caso 20 y 100 años (Figura 24). El valor de 1 indica que el 100% de la celda de 0,25° tiene algún tipo de inundación. Analizando los resultados, las zonas con mayor área inundada, es decir, con el 100% del área, están al norte, en el humedal, y al sur en el Paraná antes de que este confluya con el río Paraguay. Otras zonas que destacan pero con menor porcentaje de área inundada se producen a lo largo del río Pilcomayo, en el río Tebicuary afluente del Paraguay al norte de la ciudad de Pilar. También destaca la zona cercana a Concepción.

Figura 24 - Porcentaje de área inundada asociada a períodos de retorno de 10, 20, 50, 100 y 500 años. Valor de 1, indica 100% del área de la celda tiene algún tipo de inundación.
Resolución 0,25°



Fuente: Elaboración propia.

Según se ha ido describiendo en este apartado relativo a la amenaza por inundación, las zonas que sufren una mayor elevación de agua se encuentran sobre los ríos Pilcomayo, Paraguay, Paraná, Montelindo, Verde y Yacaré (en la parte central del Chaco). Destacan, a su vez, por su gran área de inundación, la zona del Pantanal paraguayo en el centro-norte del país dónde el 40% de los días del año se produce algún tipo de inundación. La siguiente zona donde se localizan grandes áreas inundadas es la confluencia del río Paraná y el río Iguazú, en ésta, aproximadamente el 35% del tiempo se produce algún tipo de desborde de los ríos. En el área de Asunción se produce algún proceso de desborde o rebase de los márgenes de los ríos en aproximadamente el 25% del tiempo. Los días del año en los que la elevación del agua en la llanura de inundación supera el metro de altura, se producen fundamentalmente en el río Paraná, en la zona donde confluye con el Iguazú, en Ciudad del Este y más al norte

en Saltos de Guairá dónde puede superarse esta altura el 30% del año. En el Gran Pantanal paraguayo y en la capital del país, Asunción, entre el 12% y el 16% de los días del año se presentan crecidas con más de 1 metro de altura.

Las simulaciones para el periodo de retorno de 100 años muestran posibles crecidas de aproximadamente 25 metros en la zona de Ciudad del Este, donde el río Paraná confluye con el Iguazú así como en la zona de Saltos de Guairá.

Las zonas con mayor área inundada, para este periodo de retorno, se localizan en el humedal y al sur, en el río Paraná antes de su confluencia con el río Paraguay. Otras áreas con gran extensión de zona inundada son el río Pilcomayo, el río Tebicuary afluente del Paraguay aguas arriba de la ciudad de Pilar y la zona cercana a Concepción.

3.3 Evaluación de amenaza por sequía

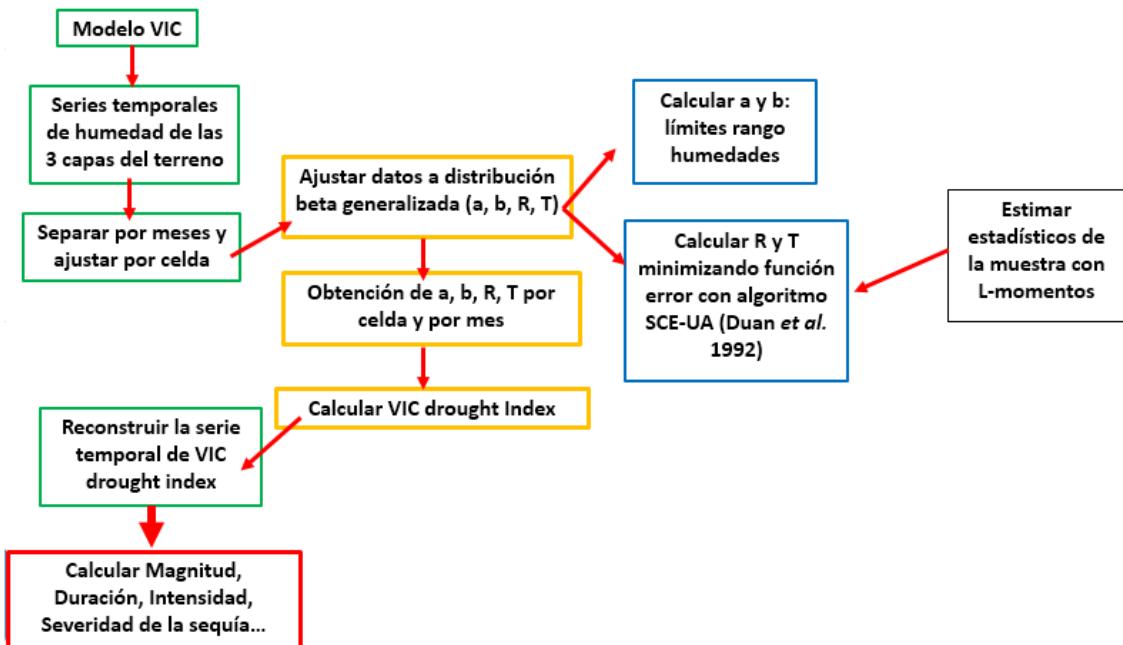
3.3.1 Caracterización de la amenaza por sequía

La sequía se ha caracterizado con el Índice de sequía VIC desarrollado en Sheffield et al. (2004). Este índice transforma la cantidad de agua contenida en el suelo en cada momento, en la probabilidad de encontrar un valor menor que el observado en toda la serie histórica. De esta forma, si un determinado valor de humedad del suelo es alto, podría recibir un valor del índice de sequía VIC de, por ejemplo, 90, lo que querría decir que el 90% de los valores de humedad del suelo en ese punto son menores que el observado en ese instante. La sequía se define como aquella situación en que el contenido de humedad del suelo es inferior a un valor, normalmente el 10% o el 20%. Es decir, cuanto menor sea el índice de sequía VIC, menos probable es el contenido de humedad y por tanto más extrema la sequía. En el anexo dedicado a la metodología (Anexo B) se explica este procedimiento en más detalle. Para aplicarlo es necesario tener datos de humedad del suelo a la escala de interés. En este caso se han usado datos de 0,25° de resolución. La sequía en concreto puede cubrir áreas muy extensas y durar desde meses a varios años, por lo que se decide caracterizar con resolución temporal de meses. Los datos de humedad del suelo se obtienen con el modelo VIC.

En cuanto a la metodología aplicada para la evaluación de la sequía, se obtiene la magnitud, la intensidad, la duración y el número de sequías en cada localización. A su vez se realiza un análisis extremo aplicando GDP) para evaluar por un lado la severidad y por otro la duración de la sequía asociadas a un periodo de retorno de 500 años (Figura 25).

A continuación se muestra el esquema de la metodología a seguir para evaluar la sequía en la región de estudio, que a su vez se explica en detalle en el Anexo B.

Figura 25 - Metodología seguida en la caracterización de la sequía en Paraguay aplicando el Índice de sequía VIC (Sheffield et al., 2004)



Fuente: Elaboración propia.

Es importante tener en cuenta que la sequía es relativa al lugar de estudio. Es decir, se estudia si hay sequía o no en cada localización, teniendo en cuenta el registro histórico de humedades en dicha localización y eligiendo un umbral por debajo del cual habrá sequía (Sheffield and Wood, 2007). Según se desarrolla en la literatura mencionada, los umbrales utilizados son los correspondientes a una humedad del suelo que es superada el 90% del tiempo. Lo que se hace, por tanto, es comparar la humedad en esa celda en un tiempo dado en comparación con el registro histórico de humedades de la misma. Dada la variabilidad estacional que presenta esta variable, es importante estudiarla mes a mes por separado. Respecto a los parámetros aplicados en la metodología expuesta, en el esquema anterior se definen r y t como los parámetros de forma de la función. Los parámetros a y b son respectivamente el límite más bajo y más alto de la humedad, los cuales dependen del tipo de suelo y del clima.

La sequía se caracteriza por tener extensas áreas de afección y perdurar en el tiempo desde meses a años, esto hace que su estudio no pueda ser analizado en detalle, requiriendo así escalas con resolución más gruesa.

En general el sesgo de la distribución de humedad es muy variable en función de la región de estudio, es por tanto indicador de la estacionalidad. El contenido de humedad del suelo está acotado entre el *wilting point* o punto de marchitez (contenido de humedad por debajo del cual las plantas se marchitan) y la porosidad (suelo saturado). Esto hace que la distribución normalmente sea sesgada a medida que la media del contenido de humedad se aproxima a estos extremos. El sesgo de la distribución es positivo si los suelos tienden a estar secos y el sesgo es negativo si son suelos húmedos al aproximarse la media al extremo de la porosidad.

3.3.2 Eventos históricos de sequía

Como se ha comentado anteriormente, Paraguay ha sufrido eventos de sequía prolongada. Las décadas de 1961-1970 y de 1971-1980 fueron particularmente secas. Las épocas con mayores sequías en Paraguay son los años: 1962, 1963, 1964, 1967, 1968, 1978, 1999 y 2008 (Báez y Monte, 2014). También lo ratifican en su estudio Céspedes y Ríos (1985), donde analizan las cotas máximas y mínimas del río Paraguay en Asunción, obteniendo para estos años los niveles menores. Las sequías de 1962 y 1978 afectaron a la mayor parte del país. En los años 1999/2000 ocurrió un evento de la Niña que provocó una sequía de magnitud extraordinaria en el país.

En 2008-2009 ocurrió una prolongada sequía en la región central paraguaya del Chaco (Figura 26), la cual ocupa el 60% del territorio de Paraguay. En concreto, afectó a los departamentos de Presidente Hayes, Alto Paraguay y Boquerón. Es una región que se caracteriza por ciclos de inundación y sequía.

Figura 26 - Sequía producida en el Chaco Paraguayo en el año 2009



Fuente: ABC-Color, 2009.

Se ha consultado además DESINVENTAR¹¹. En ese momento esta base de datos recogía unos 3.200 registros¹² relativos a sequías, casi la mitad de todos los eventos documentados. En este caso el periodo abarcado es de 1997 a 2013.

Evidentemente, más aún que para las inundaciones, estos registros deben interpretarse como el reflejo del conjunto de impactos con amplia distribución geográfica ocasionados por un mismo evento de sequía. En consecuencia se realizó un ejercicio de agrupación, por fechas y distribución geográfica cuyo resultado, incluyendo el número afectados, se presenta en sendas tablas en el Anexo A. A continuación se presenta el resumen de eventos y daños en la Tabla 8¹³.

Tabla 8 - Resumen de los eventos de sequía registrados (1997-2013)

Año	Regiones (Nº de Eventos aparentes)	
	Chaco	Región Oriental
2001	1	
2008	1	
2009	1	1
2010	1	1
2011	1	1

¹¹ Actualizada a fecha de febrero de 2015.

¹² La base de datos DESINVENTAR cuenta con registros de daños, de los que varios pueden corresponderse a un único evento. En el momento de realizar la consulta existían 3.200 registros, o entradas, relativas a sequías, lo que no corresponde a 3.200 eventos de sequía sino a 3.200 anotaciones en la base datos relativas a ella.

¹³ Se ha consultado la base de datos EMDAT concluyendo que el registro disponible es tan reducido e incompleto que no se ha considerado en este estudio.

Año	Regiones (Nº de Eventos aparentes)	
	Chaco	Región Oriental
2012	1	1
2013	1	1
Daños		
Muertos ('01-'13)	6	0
Afectados ('01-'13)	> 267.650*	> 469.555*
Cultivos/Bosques afectados	Sin datos	Sin datos
Daños agropecuarios ('01-	Sí, no cuantificados	Sí, no cuantificados

* Registro aparentemente incompleto

Fuente: DesInventar, 2017.

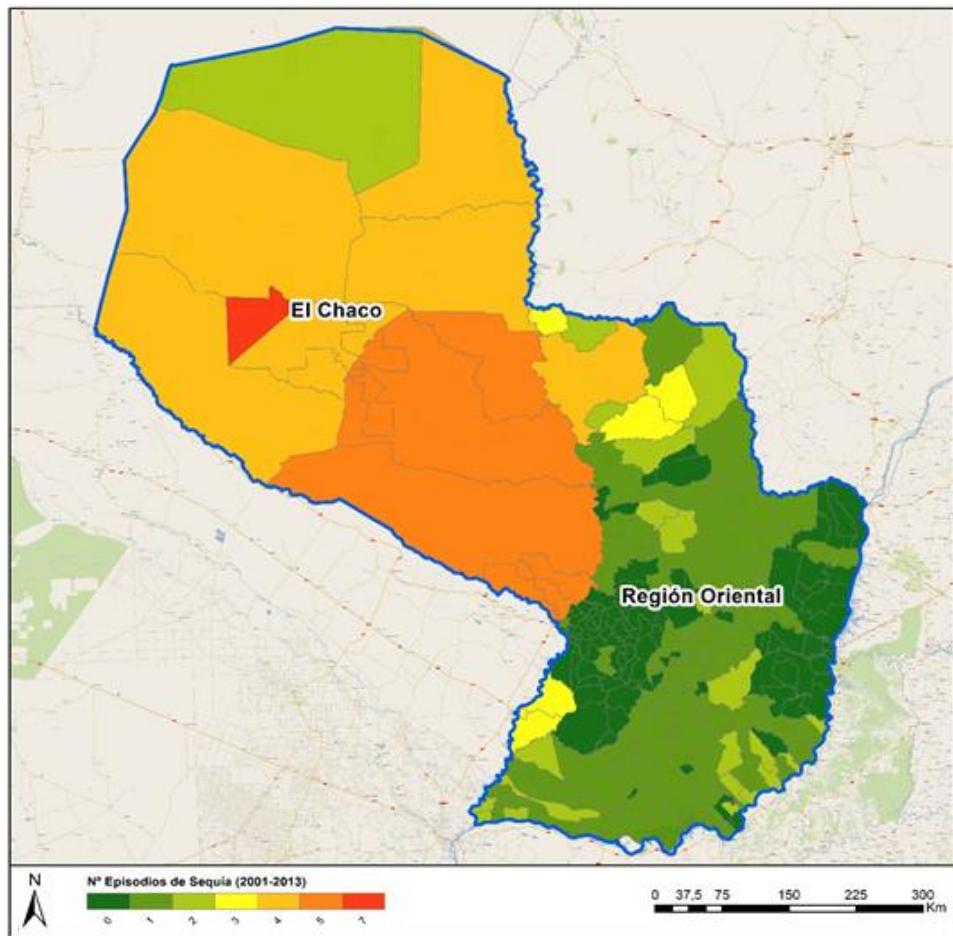
Más allá de que el periodo de registro (1997-2013) es reducido en esta base de datos, permite poder valorar correctamente esta amenaza en términos de recurrencia y magnitud.

Se deduce que si bien aparentemente la extensión de las zonas afectadas por sequía en la zona occidental del país probablemente sea mayor, en la práctica el número de habitantes afectados en la Región Oriental es significativamente superior al registrado en el Chaco. Se entiende que este debe estar directamente relacionado con la distribución poblacional del país que concentra a la inmensa mayoría de habitantes en esta zona. Por otro lado, el dato acumulado para el Chaco, de más de 267.000 habitantes afectados, resulta bastante elevado teniendo en cuenta que la población oficial de esta zona del país está en torno a las 200.000 personas¹⁴. En algunos registros, como el que se recoge para el Departamento de Boquerón en 2012, se cuantifican hasta más de 40.000 afectados, lo que supone más de la mitad de la población del departamento que documenta unos 70.000 habitantes. Por tanto, este hecho refleja que, proporcionalmente al número de habitantes, igualmente en esos términos, el impacto humano por las sequías es más significativo en la zona occidental del país.

A partir de la información recogida en DESINVENTAR, se ha elaborado la siguiente representación esquemática (Figura 27) con el objetivo de reflejar globalmente la distribución geográfica de las sequías en el periodo indicado.

¹⁴ Datos verificados en la web de la Dirección General de Estadística de Paraguay.

Figura 27 - Distribución de eventos de sequía en Paraguay (1997-2013)



Fuente: Elaboración propia.

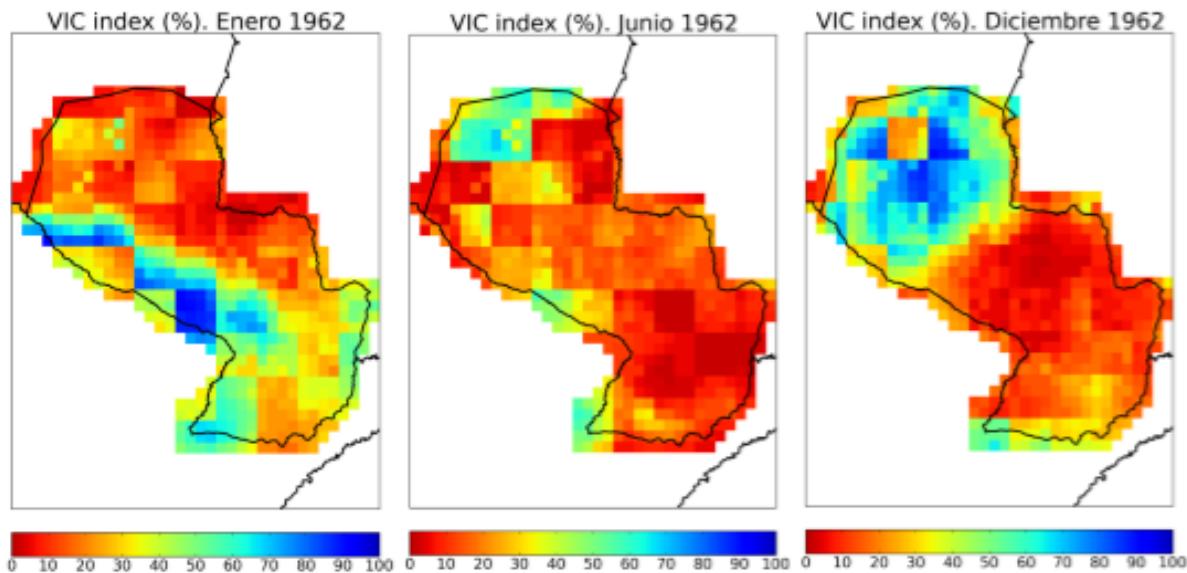
Tal como se puede observar en la anterior imagen, las sequías se concentran fundamentalmente en los departamentos ubicados al oeste del río Paraguay. Ahora bien, a nivel medio en términos de frecuencia, se pueden destacar los departamentos de Concepción y Ñeembucú en la Región Oriental.

Validación

En general las épocas más secas en la República del Paraguay fueron las décadas de los años 60 y 70 (Goniadzki y Borús, revista Hydria). Conforme a esa base, a continuación, la Figura 28 muestra los resultados del índice de sequía VIC obtenido para algunos de estos años:

Año 1962

Figura 28 - Índice de sequía VIC para enero, junio y diciembre de 1962

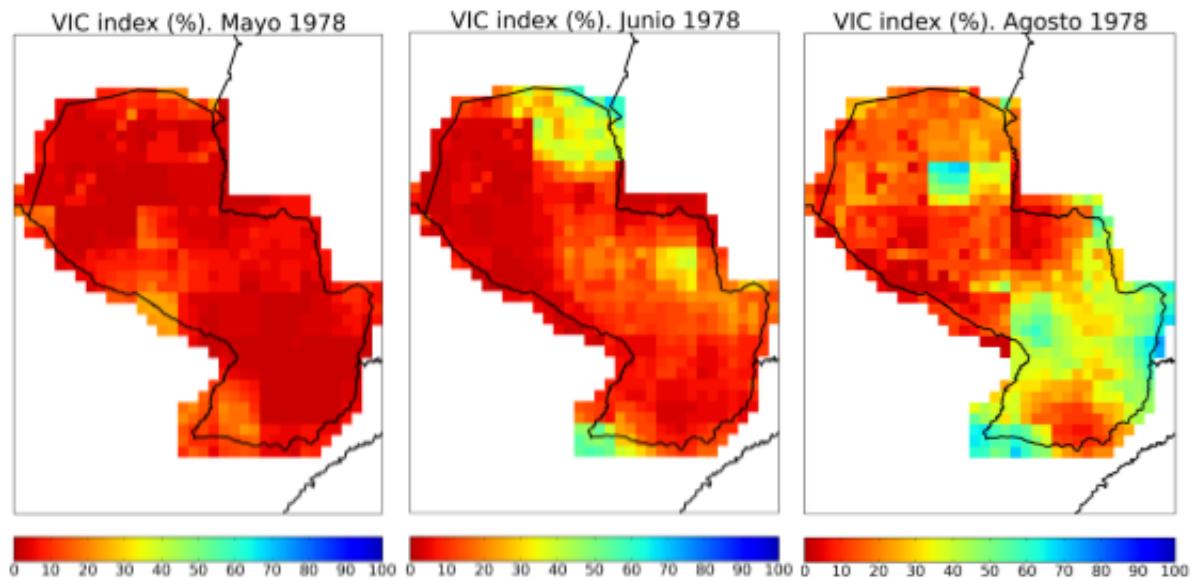


Fuente: Elaboración propia.

Las imágenes anteriores muestran el índice de sequía VIC obtenido para el año 1962. En enero de este año, la zona del Chaco en la parte occidental del país, se encuentra por debajo del 10%, es decir, el 90% del tiempo la humedad del suelo es mayor que la observada este mes. Solo la zona donde discurre el río Pilcomayo o el Paraná tiene contenidos de humedad mayores. En junio del mismo año, en época de lluvias, buena parte del país se encuentra por debajo del umbral definido de 10, por tanto en condiciones de sequía. En cambio, la zona norte del país, en el Pantanal paraguayo, existe un mayor contenido de humedad. En diciembre de ese año las condiciones de sequía aún se manifiestan en la parte oriental del territorio.

Año 1978

Figura 29 - Índice de sequía VIC para mayo, junio, agosto de 1978

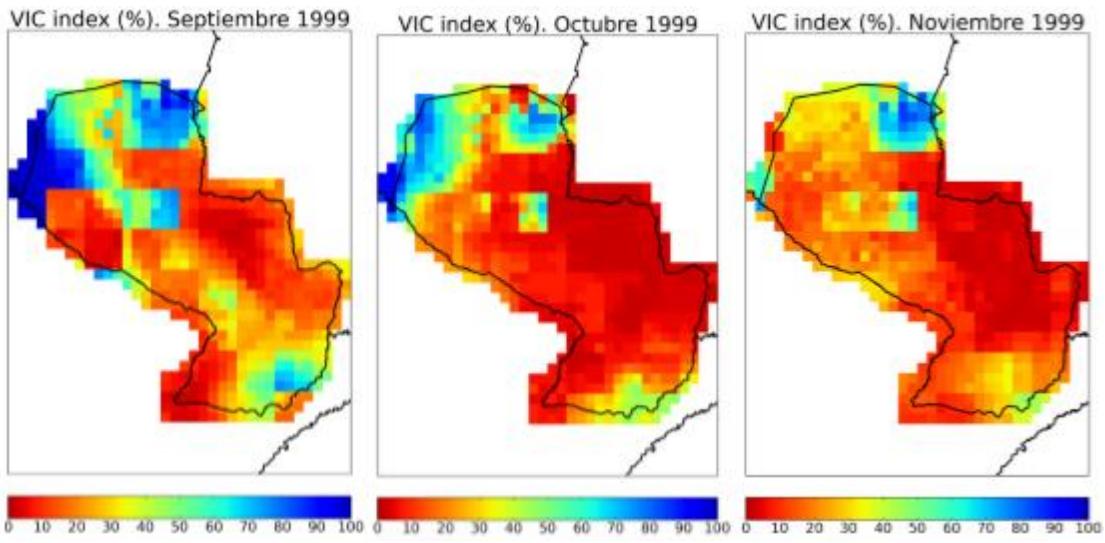


Fuente: Elaboración propia.

En el año 1978 Paraguay tuvo una sequía severa que se manifestó durante buena parte del año. Además de haber sido extrema en todo el país, es la de mayor extensión espacial registrada. En el periodo habitual de lluvias durante ese año, en el mes de mayo, todo el país registra valores por debajo del 10% del percentil del contenido de humedad habitual para ese mes (Figura 29). En junio sigue ocurriendo lo mismo y en agosto ya empieza a remitir.

Año 1999

Figura 30 - Índice de sequía VIC para septiembre, octubre y noviembre de 1999

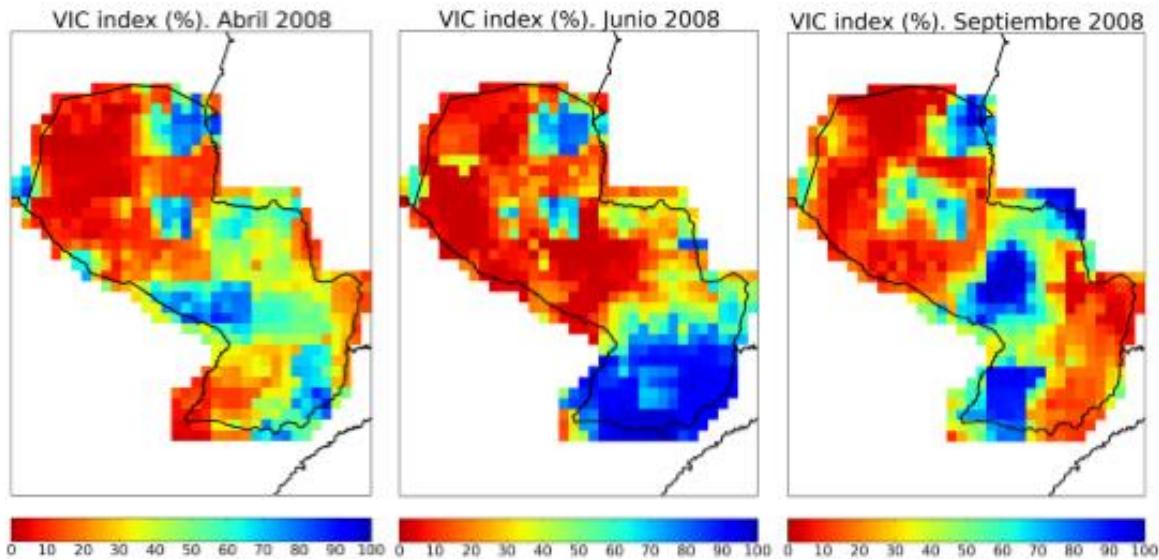


Fuente: Elaboración propia.

A finales del año 1999 hubo sequía en la mayor parte del país, sobre todo en la región oriental, la más húmeda normalmente. En cambio, la región occidental que es más seca, no presentó una sequía tan acusada para los valores típicos de contenido de humedad de los meses observados (Figura 30).

Año 2008

Figura 31 - Índice de sequía VIC para abril, junio y septiembre de 2008



Fuente: Elaboración propia.

Debido a las sequías del año 2008 al 2009 en Paraguay, el PIB cayó un 4,2% en el primer trimestre del año 2009 según el Banco Central de Paraguay en su informe de 2009. En abril de 2008, el índice de sequía VIC obtenido, indica que la parte occidental del país presenta condiciones de sequía (Figura 31). Ocurre lo mismo en junio del mismo año y en septiembre donde todo el país sufre sequía excepto la zona del curso del río Paraguay, el humedal del Pantanal paraguayo y en la zona de confluencia del río Paraná con el Paraguay. La sequía del año 2008-2009 principalmente afectó a la región del Chaco paraguayo.

Después de analizar los resultados mostrados en la validación se puede concluir que el índice de sequía VIC es capaz de capturar aquellas sequías históricas que ha sufrido el país.

3.3.3 Mapas de amenaza de sequía

A continuación se presentan los resultados obtenidos para caracterizar la sequía en la República del Paraguay para lo que se ha utilizado el índice de sequía VIC (Sheffield et al., 2004) para el periodo de estudio 1901-2008.

En la Figura 32, se analiza la intensidad media de la sequía, calculada como se explica en la metodología siguiendo el método de Sheffield et al., 2004. La intensidad de la sequía es una

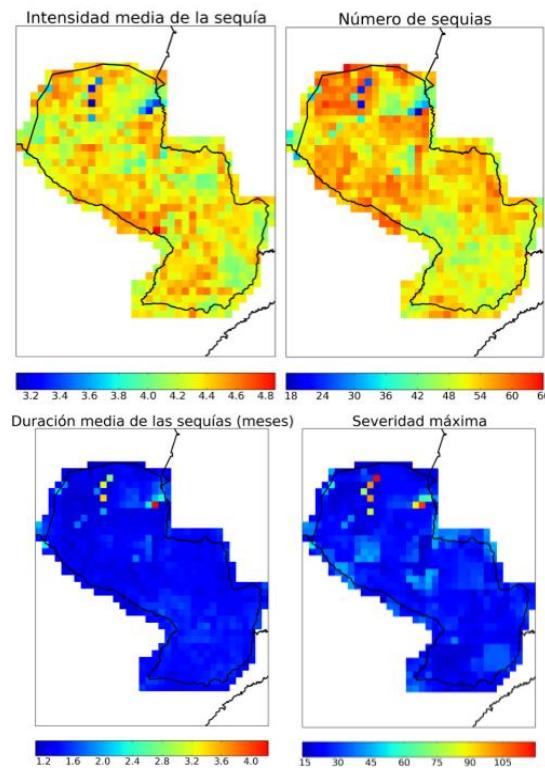
medida del poder de devastación de la misma; a mayor intensidad mayor poder de devastación. Es un valor que puede encontrarse entre 0 y 10, donde 0 es la ausencia de sequía y 10 es el máximo valor posible de la sequía. Su valor absoluto es complejo de interpretar, sin embargo, sirve como índice de comparación ya que una localización con un valor del índice del doble que otra está sufriendo una sequía con el doble de poder de devastación. La intensidad es una medida que elimina el efecto de la duración del evento. Más detalles y una explicación más detallada pueden encontrarse en el Anexo B. Durante el periodo de estudio se observan los mayores índices de sequía en la zona Norte del país, y la región del Chaco paraguayo. Con respecto a la severidad media, los valores más altos se registran en la zona Occidental. A continuación, se presentan los resultados de estos índices para el referido periodo de estudio.

Índice de sequía en el periodo de estudio

Con $0,25^{\circ}$ de resolución, se han calculado las intensidades y severidades de la sequía, así como el número de sequías, las duraciones, etc. (Figura 32) Algunos de los resultados obtenidos se comentan a continuación.

Figura 32 - Intensidad media de la sequía, número total de sequías, duración media de sequías (meses), severidad máxima de la sequía.

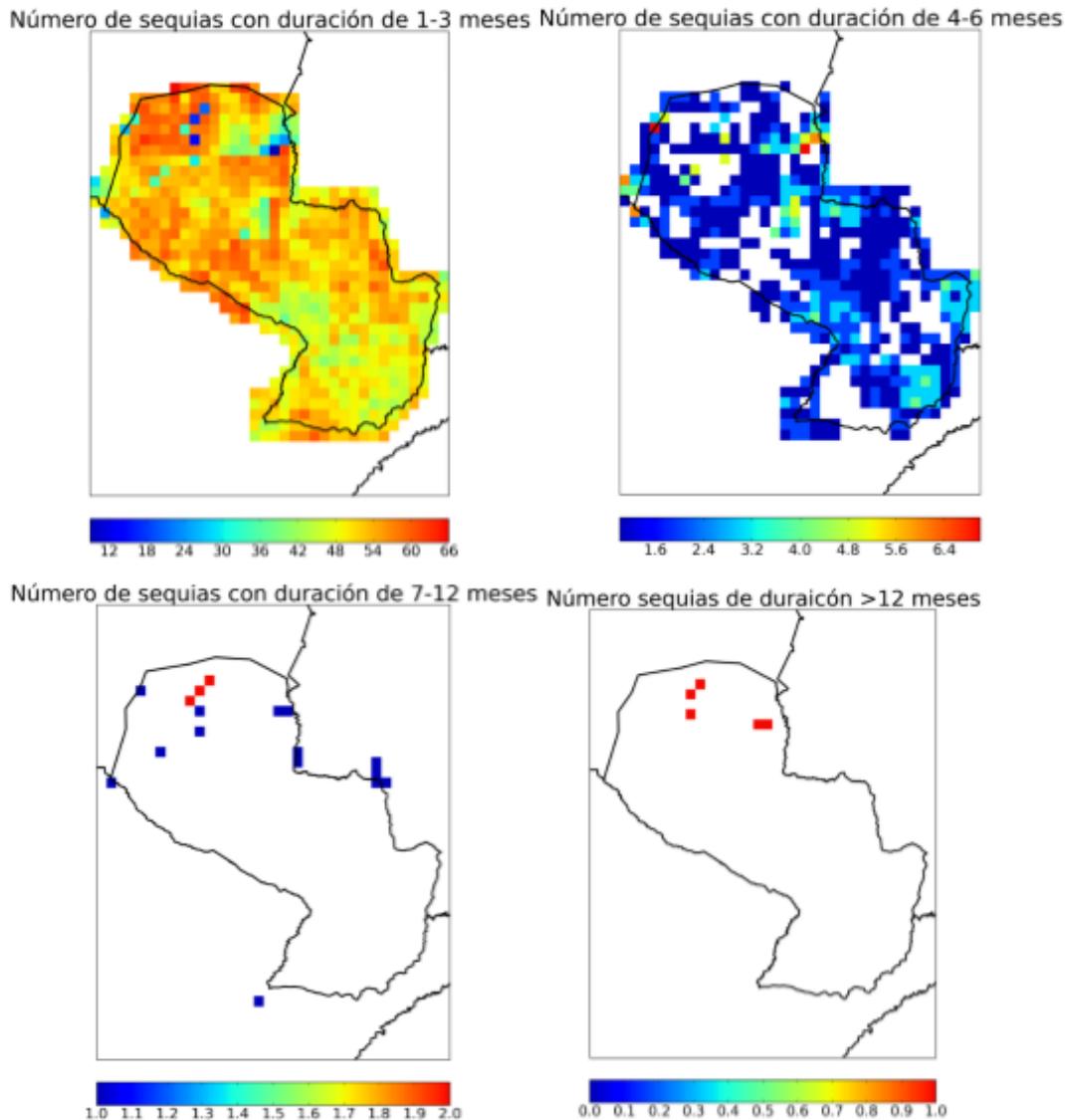
Periodo de estudio 1950-2013. Resolución 0,25°



Fuente: Elaboración propia.

Si se observa la intensidad media en la imagen anterior, se puede decir que es casi homogénea en todo el país, con valores que rondan el 4,5% no pudiendo sacar una conclusión clara. Sin embargo, sí hay diferencias entre la zona norte y sur en el número de sequías. En la zona norte hay más sequías.. La zona con menor número de sequías corresponde con el Pantanal paraguayo. En cuanto a la severidad de la sequía, la zona norte presenta un grupo de celdas con una severidad importante y con ciertas zonas con severidad ligeramente mayor que la zona sur. En la siguiente imagen (Figura 33) se presentan los mapas del número de sequías con duración mayor de 1 a 3, 4 a 6, 7 a 12 o más de 12 meses.

Figura 33 - Número de sequías en función de la duración
Resolución 0,25°. Periodo de estudio 1950-2013



Fuente: Elaboración propia.

La zona de estudio se caracteriza por tener una mayor frecuencia de las sequías de corta duración de 1 a 3 meses. A su vez hay zonas donde el periodo de sequías dura de 4 a 6 meses. Todas las sequías con duración de más de 7 meses se encuentran en la zona norte del país. Solo hay cinco localizaciones en la parte occidental donde la duración supera los 12 meses.

Severidad de la sequía y duración asociada a un periodo de retorno

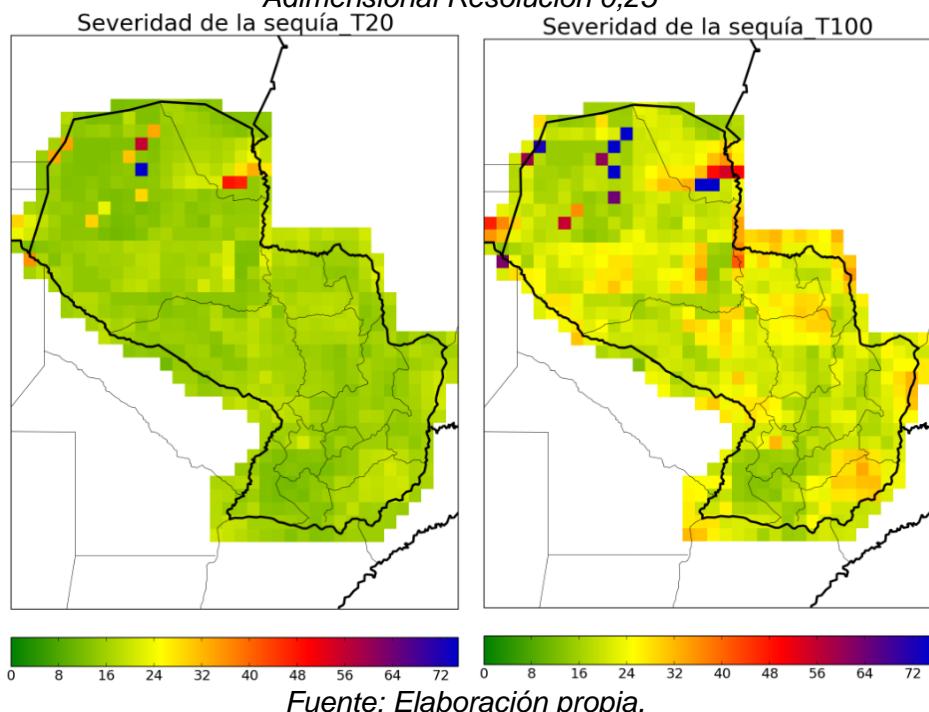
Al igual que en el caso de las inundaciones, se ha analizado la sequía a través de análisis de extremos de la severidad de esta amenaza y de su duración asociada a los períodos de retorno de 10, 20, 50, 100 y 500 años. En este caso se va a emplear en el ajuste el GDP ya que se va a analizar las excedencias sobre un umbral. Se obtienen así la severidad y la duración de la sequía asociados a los períodos de retorno de 10, 20, 50, 100 y 500 años.

La severidad de la sequía es una variable que mide el efecto combinado de la intensidad y la duración. Sirve para comparar el efecto de devastación que tienen eventos de distinta intensidad y duración.

De los resultados obtenidos para la variable Severidad de la sequía asociada a un periodo de retorno de 20 y 100 años, se deduce que las zonas con una severidad mayor están en el norte del país, en el Chaco según se muestra en la Figura 34. Un valor elevado en la severidad, indica que esa zona, tiene eventos de sequía importantes ya sea por su duración en el tiempo o por su magnitud elevada.

Figura 34 - Severidad de la sequía asociada a períodos de retorno de 20, y 100 años.

Adimensional Resolución 0,25°

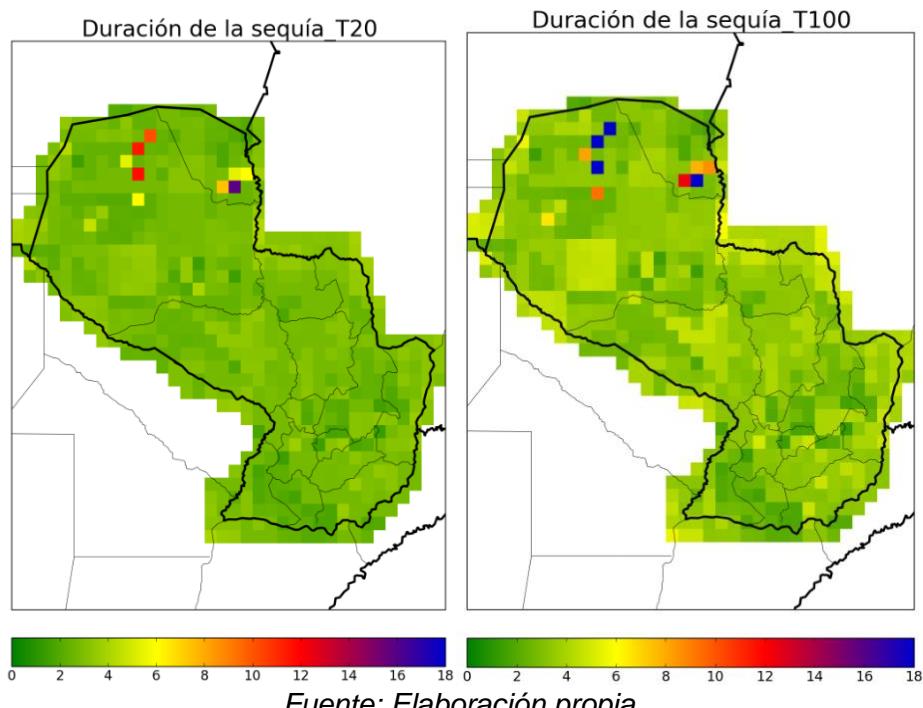


Fuente: Elaboración propia.

En los resultados obtenidos para la duración de la sequía para el periodo de retorno de 500 años se concluye que la zona donde las sequías tienen mayor duración es la zona norte del Chaco y la zona central del mismo (Anexo C).

Por último, para la caracterización de la sequía se presentan los mapas de duración de la sequía en meses para los periodos de retorno de 20 y 100 años (Figura 35). El resto de resultados relativos a los periodos de retorno de 10, 50 y 500 años se adjuntan en el Anexo C.

Figura 35 - Duración en meses de la sequía asociada a periodos de retorno de 20 y 100 años. Resolución 0,25°



Fuente: Elaboración propia.

Del análisis realizado en este apartado, se observa que la zona con mayor intensidad de sequía corresponde a la zona del Chaco paraguayo al norte del país. La severidad media es mayor en la zona más occidental del país, en el Chaco Seco y menor en aquellas zonas de influencia de los ríos como el Paraguay o el Paraná, así como la zona del Pantanal paraguayo que presenta menor severidad de sequía.

A su vez, en cuanto a la distribución de la severidad de la sequía, en la zona norte del país las sequías de forma generalizada tienen una duración de más de 7 meses.

3.4 Evaluación de amenaza por incendios forestales

3.4.1 Caracterización de la amenaza por incendio

Los incendios forestales constituyen en la actualidad una de las principales amenazas que afectan a las zonas forestales del mundo como ser las regiones más boscosas de América Latina, por lo que su estudio y análisis resulta fundamental para afrontar los retos derivados de la gestión y conservación de los montes.

Se define incendio como un caso particular de fuego en el cual se quema aquello que no se desea que se queme y consecuentemente es valorado negativamente por el ser humano. Por lo tanto, el concepto de incendio es esencialmente antrópico: lo que otorga la categoría de incendio a un fuego determinado no estriba en el proceso físico – químico en sí (la combustión) que se está desarrollando, ni en los procesos y efectos ecológicos derivados, sino en que su efectos sean valorados negativamente, por causas ecológica o económicas, personales o sociales, por el ser humano.

Igualmente se puede definir incendio forestal como todo fuego que se propaga de forma incontrolada afectando a vegetación forestal (no agrícola) que no estaba destinada a arder. Es decir, se considera incendio forestal al fuego que se extiende incontroladamente sobre un monte, de tal forma que no se considera incendio a las quemas de matorral, pastos o residuos forestales siempre que sean controladas.

La amenaza de incendio forestal se ha generado a través de una cobertura temática basada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) correspondiente a cada uno de los elementos que componen el módulo de amenazas por una parte y el de riesgos por otra. La superposición conjunta de todas las coberturas creadas ofrece finalmente un conjunto de espacios con una categorización de susceptibilidad de incendio.

La información en la que se ha basado este estudio procede en primer lugar de bases de datos internacionales, tales como el modelo digital del terreno, climatología, etc., y por otro lado, de la información recopilada de los organismos pertinentes paraguayos como la Secretaría del Ambiente (SEAM) y el INFONA.

Para la obtención del mapa de amenaza o susceptibilidad de incendio forestal en Paraguay, se ha trabajado con la máxima escala de precisión que suministran las bases de datos comentadas, concretamente con una escala de 100 x 100 metros. Se considera que esta

escala de trabajo ofrece una caracterización muy precisa del estado del país en cuanto a incendios forestales.

El mapa de amenaza o susceptibilidad del país ha sido elaborado mediante la yuxtaposición de diversos indicadores o factores relacionados con esta temática. Una vez realizada esta yuxtaposición se obtiene la siguiente categorización del territorio:

- Muy alta susceptibilidad de incendio.
- Alta susceptibilidad de incendio.
- Media susceptibilidad de incendio.
- Baja susceptibilidad de incendio.
- Nula susceptibilidad de incendio.

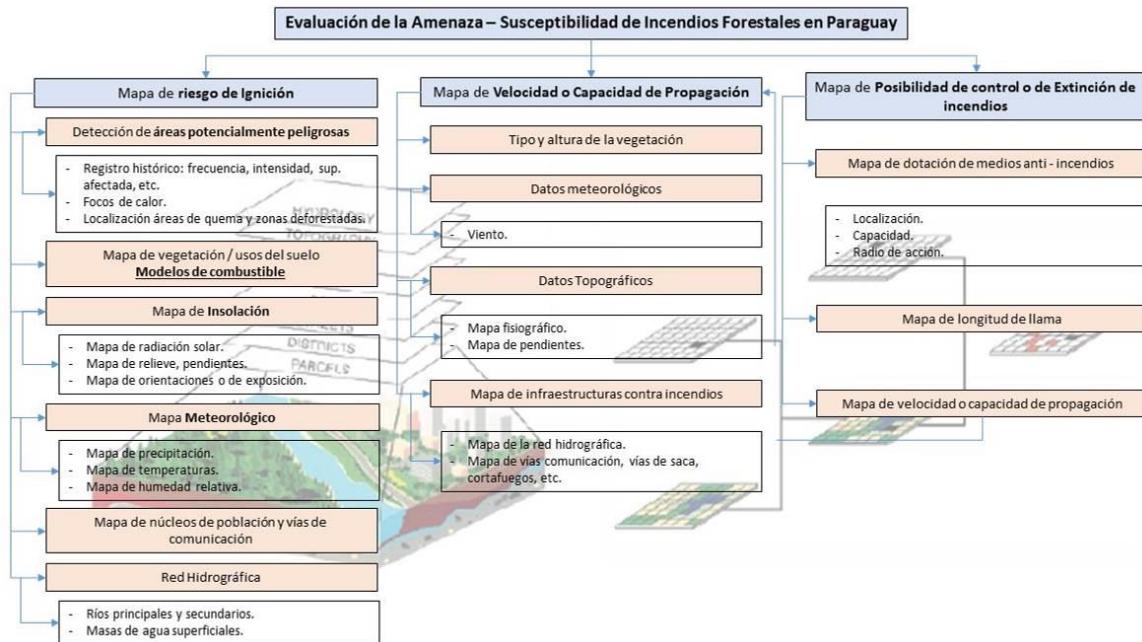
Para ello, se han elaborado varios mapas en base a la información geográfica suministrada por los diferentes agentes implicados y administraciones gubernamentales de Paraguay, y también a las dinámicas climáticas elaboradas previamente por el equipo consultor del proyecto.

La amenaza de incendio forestal en Paraguay está compuesta de la combinación de los factores (indicadores) que a continuación se indican y que a su vez están englobados en diversos mapas intermedios:

- Mapa de riesgo de ignición.
- Mapa de velocidad o capacidad de propagación.
- Mapa de posibilidad de control o de extinción de los incendios.

Una vez obtenidos estos tres mapas se ha realizado su yuxtaposición, asignando pesos a cada uno de ellos con el fin de obtener el mapa final de amenaza o susceptibilidad de incendios forestales del país. En la Figura 36 se presenta la composición de los tres mapas descritos detallando los indicadores que componen cada una de estas, así como los mapas de detalle elaborados.

Figura 36 - Esquema de la metodología de evaluación de la amenaza-susceptibilidad de incendio a nivel nacional



Fuente: Elaboración propia.

El contexto de detalle de estos mapas, así como su composición completa y la metodología de obtención de los mismos, se encuentra detallada en el Anexo C de este informe.

3.4.2 Eventos históricos de incendios

El registro histórico de incendios forestales ocurridos en el país en los últimos años es una base fundamental para desarrollar la evaluación del riesgo de incendio. Teniendo en cuenta que la mayoría de los incendios forestales tienen origen antrópico, resulta prioritario tener conocimiento de las áreas anteriormente quemadas, su causa, área total y vegetación afectada, etc., para tener un conocimiento previo de la situación de los incendios forestales en Paraguay.

Para la caracterización de esta amenaza, se ha acudido a todas las fuentes de información disponibles en cuanto a incendios forestales. Las fuentes consultadas han sido las siguientes:

- Plataforma DESINVENTAR.
- Plan Nacional de Uso del Fuego de Paraguay (2012 – 2016).

- Información sobre focos de calor registrados por el satélite MODIS.
- Atlas de Riesgos de Paraguay.

La plataforma DESINVENTAR¹⁵ ofrece un registro de incendios forestales constituido por 50 registros comprendidos entre los años 2007 y 2012, y ubicados todos ellos en la región Oriental. En el Anexo A (apartado 1.3) se presenta el resumen, en formato tabla, del número de eventos, afectados y daños documentados en relación con esta amenaza, tras el correspondiente ejercicio de agrupación y filtro.

Por su parte, el Plan Nacional de Uso del Fuego 2012-2016 de Paraguay ofrece un registro de superficies afectadas a nivel departamental entre los años 2001 y 2010, lo que a priori, induce a pensar que se trata de un registro aceptable. Sin embargo, no ofrece información detallada sobre la localización de estas zonas quemadas, por lo que únicamente se puede realizar un análisis departamental.

El satélite MODIS ofrece datos sobre la densidad de focos de calor registrados en el periodo 2001-2012, si bien conviene saber que no todos los focos de calor representan incendios forestales, por lo que estos datos sólo se han tenido en cuenta a la hora de caracterizar el país en cuanto a amenaza o susceptibilidad de incendio forestal.

Por último, se han analizado los datos procedentes del Atlas de Riesgos los cuales proporcionan información geográfica detallada en cuanto a las áreas del país quemadas en el periodo 2000-2010. Es la base de datos que se ha tenido en cuenta a la hora de la caracterización de eventos históricos en Paraguay debido a que es la que más información aporta.

3.4.3 Mapa de amenaza de incendio

El resultado final de la metodología mencionada anteriormente y detallada en el Anexo C es la elaboración del mapa de amenaza o susceptibilidad de incendio forestal. A continuación se presentan los tres mapas intermedios que lo componen:

- Mapa de riesgo de ignición (Figura 37)

¹⁵ Actualizada a fecha de febrero 2015.

- Mapa de velocidad de propagación (Figura 38)
- Mapa de posibilidad de control o extinción (Figura 39)

Figura 37 - Mapa de riesgo de ignición

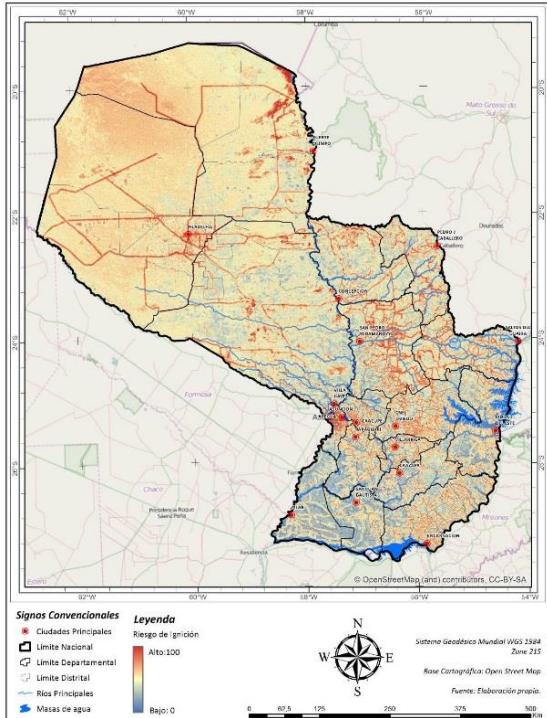
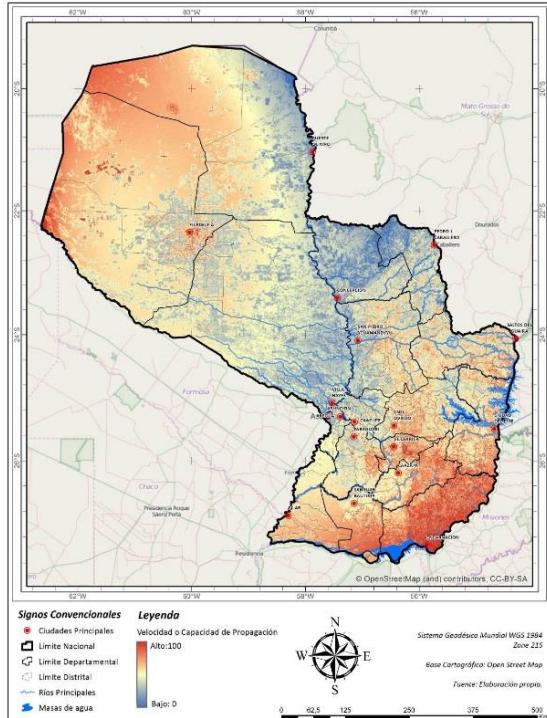
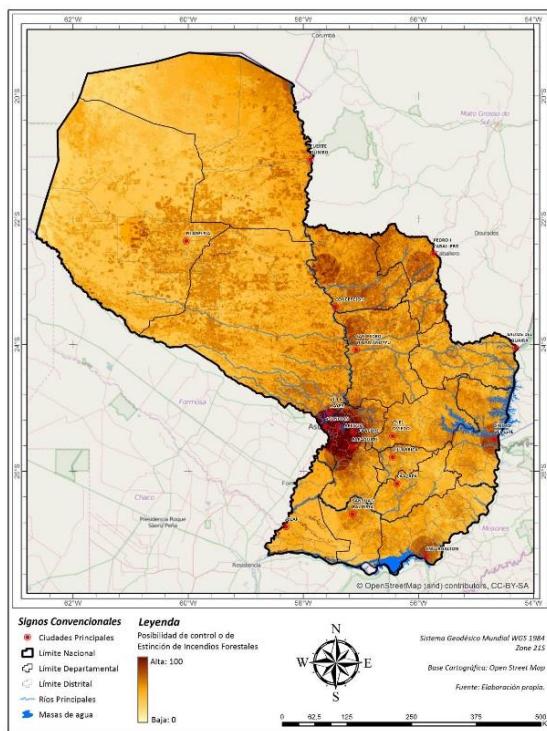


Figura 38 - Mapa de velocidad de propagación



Fuente: Elaboración propia.

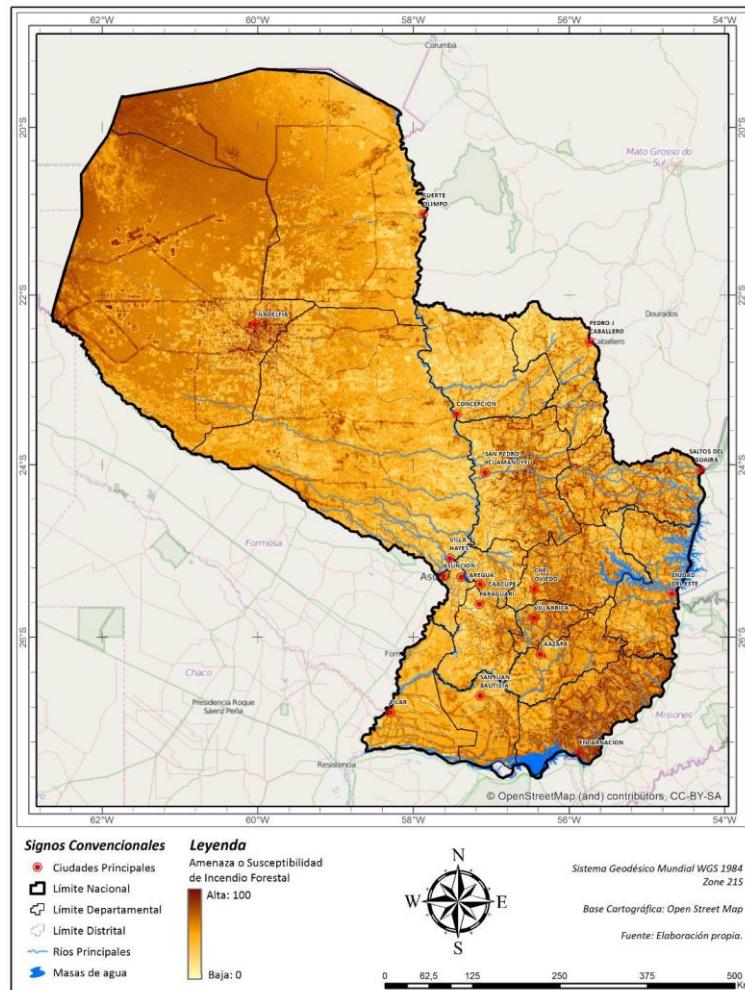
Figura 39 - Mapa de posibilidad de control o extinción de incendio forestal



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presenta el resultado del mapa de amenaza o susceptibilidad de incendio forestal obtenido para la República del Paraguay con una homogeneización en escala de 0 a 100 (siendo el valor 0 el menor valor en cuanto a riesgo de ignición, velocidad de propagación y posibilidad de control o de extinción de incendios forestales, aumentando correlativamente hasta el valor 100, que sería la máxima puntuación de estos indicadores; es decir, un valor 50 en el mapa indicaría un riesgo de ignición medio, una velocidad de propagación media y una posibilidad de control o de extinción de incendios media) (Figura 40).

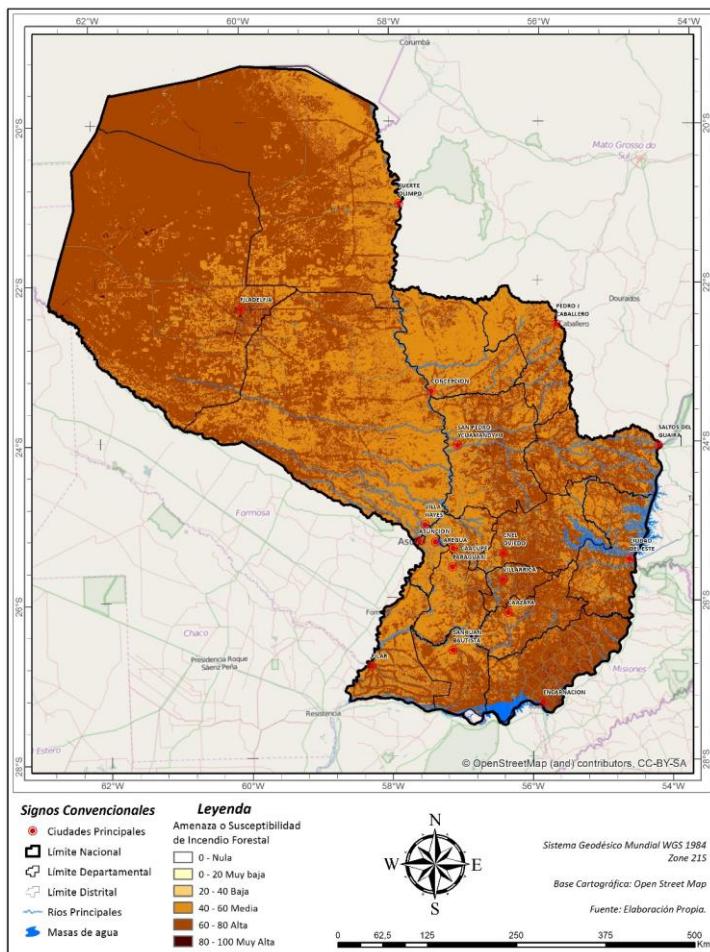
Figura 40 - Mapas de amenaza / Susceptibilidad de incendio forestal



Fuente: Elaboración propia.

Por último, se presenta en la siguiente Figura 41 el mismo mapa de amenaza o susceptibilidad de incendio forestal, pero con una graduación de la escala, obteniendo de esta forma rangos de magnitud en una escala de seis categorías.

Figura 41 - Mapas de amenaza / Susceptibilidad de incendio forestal categorizado



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 9 se ofrece un resumen de las superficies totales de Paraguay en cuanto a la amenaza o susceptibilidad de incendio forestal.

Tabla 9 - Superficies y rangos de amenaza / incendio forestal
Representado en rangos, hectáreas y porcentaje

Categoría Amenaza - Susceptibilidad	Rango	Sup. (has)	% Respecto al total
Nula	0	0,76	0,00%
Muy baja	0-20	121.086	0,30%
Baja	20-40	728.947	1,83%
Media	40-60	15.341.627	38,52%
Alta	60-80	23.498.170	59,01%
Muy Alta	80-100	134.001	0,34%

Fuente: Elaboración propia.

En el mencionado Anexo C se profundiza sobre la elaboración detallada de este mapa.

Tal y como puede apreciarse, la mayoría del territorio de Paraguay (el 59% del total), se encuadra dentro de la categoría de amenaza – susceptibilidad alta de incendios forestales, seguido de la categoría media, con más del 38% del total de la superficie.

Las demás categorías no acumulan una gran cantidad de porcentaje de territorio, tal y como se puede apreciar en la tabla.

4. Exposición y Vulnerabilidad

4.1 Elementos expuestos a la inundación y sequía

El objetivo de este apartado es de caracterizar la exposición de la población paraguaya a los eventuales impactos derivados de sequías e inundaciones. Para ello se ha estudiado la evolución espacial de varias magnitudes representativas de las condiciones existentes a partir de los datos disponibles.

Tal y como se ha concluido del estudio de las amenazas en las secciones anteriores, el nivel de detalle en su distribución espacial es más alto del que cabe esperar en el estudio de la información económica. Por otro lado, el grado de desagregación espacial de la información socioeconómica disponible no será homogéneo a la vista de las fuentes empleadas, dada la diferencia en el proceso de registro de la misma.

Esta sección presenta un conjunto de indicadores que sirven un doble propósito, por un lado como fuentes de información directa que aportan información para la caracterización del medio socioeconómico afectado. Por otro lado, algunos de ellos se emplearán para establecer criterios de desagregación espacial de magnitudes agregadas para mejorar el detalle de la información espacial introducida en el modelo.

En ese sentido, los indicadores básicos de población y renta per cápita se presentan para describir el entorno del territorio paraguayo al mismo tiempo que se emplearán como elementos de desagregación espacial de las actividades económicas a fin de poder evaluar el grado de afección en cada punto concreto.

En el trabajo se han recopilado las fuentes censales más detalladas disponibles y fuentes censales (censo de población 2002 y 2011, censo económico de 2008 y censo agrario 2006) se ha elaborado un conjunto de indicadores que reúne la información relevante a escala espacialmente desagregada. Sin embargo, dado que las citadas fuentes se elaboraron contemplando una distribución distrital distinta en cada caso,¹⁶ en la distribución elaborada

¹⁶ Se adjuntan sendas noticias de prensa que celebran nuevos distritos <http://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/tres-fronteras/yvyrarovana-nuevo-distrito-359399.html>
<http://paraguay-un-milagro-americano.blogspot.com.es/2014/08/san-alfredo-nuevo-distrito-norteno.html>
https://es.wikipedia.org/wiki/Liberaci%C3%B3n_%28Paraguay%29.

(ver Tabla10), se han subsumido los cambios por escisión, combinación y absorción, realizando las imputaciones pertinentes a fin de proporcionar un mapa suficientemente preciso para que su rasterización permita obtener resultados a la escala más detallada posible. Tratando en todo caso de aproximarse a la escala de definición de la amenaza que por definición es mucho más detallada. Se concluyó que esta es la mejor solución ya que une la información más detallada con un mínimo número de áreas sin datos. Por otro lado, dado que los resultados se presentan a escala de *raster*, el empleo de unidades espaciales de imputación de datos que correspondan a distritos cuya existencia no es coetánea entre sí, no afecta estos resultados.

Finalmente, en cuanto a la categoría de datos recogidos, se han manejado primeramente los datos de población, en segundo lugar se recogieron datos de distribución de la renta, en tercer lugar datos de activos físicos y, por último, datos de flujos representativos de actividades económicas. Se presenta en la Tabla 10 un resumen de la información consultada en el capítulo.

Tabla 10 – Elementos expuestos a inundación – sequía. Fuentes de datos

Categoría	Naturaleza Dato	Distribución	Fecha	Fuente	Base
Personas	Censo Población	Distrital	2002/2011	Oficial/DGEEC	Censo Población
	Estimación Población	Raster	2002	CIESIN	Censo desagregado fuentes indirectas
	Estimación Población	Raster	2015	Worldpop	
	Estimación	Grid 5' arco	2011	GRDP	
Distribución Renta	Datos censo Renta	Distrital	2002	DGEEC	Distribución distrital de la
Stock Capital	Datos estimados	Grid 5' arco/urbano	2015	GRDP	Estimaciones desagregadas
Flujos Económicos	Censo Cooperativo	Gis Vectorial	2008	OSM	Trabajo Cooperativo
	Producción agrícola	Raster/grid	2013	FAO	Desagregación de datos
	Producción Industrial	Distrital	2002	DGEEC	Censo económico
	Empleo sectorial	Distrital	2002	DGEEC	

Fuente: Especificadas en la tabla.

A los efectos de caracterizar los impactos, se ha empleado, por un lado la información existente a escala de distrito (censo económico industrial, censo de población y censo

agropecuario) junto con la información elaborada para el *Global Assessment Report 2015* (UNISDR, 2015) y los *grid* de población del *World Population Institute* (WorldPop). El uso que se ha dado a los datos proporcionados por el GAR ha sido mayor. Por un lado se ha empleado la información desagregada, como una fuente de datos validada consistentemente contra los datos macroeconómicos del país, y por otro lado se ha empleado conjuntamente con los *grid* de población como instrumento de desagregación para distribuir espacialmente los datos censales citados anteriormente, cuando la distribución espacial de los mismos no está disponible con el suficiente detalle. Así por ejemplo, el *stock* de capital industrial del GAR distribuido en una malla de 5 km de lado aproximadamente, se ha empleado como elemento de imputación del valor agregado bruto (VAB) industrial disponible a escala distrital en el censo económico nacional.

En los apartados siguientes se presentan los indicadores básicos para describir el entorno del territorio paraguayo (población y renta per cápita) que se emplearán como elementos de desagregación espacial de las actividades a fin de poder evaluar el grado de afección.

4.1.1 Distribución de la población expuesta

En el proceso del estudio demográfico se ha capturado tanto la población urbana concentrada como la población rural diseminada oficialmente censadas. Dichos datos se han obtenido de cuatro fuentes que han sido posteriormente objeto de validación cruzada.

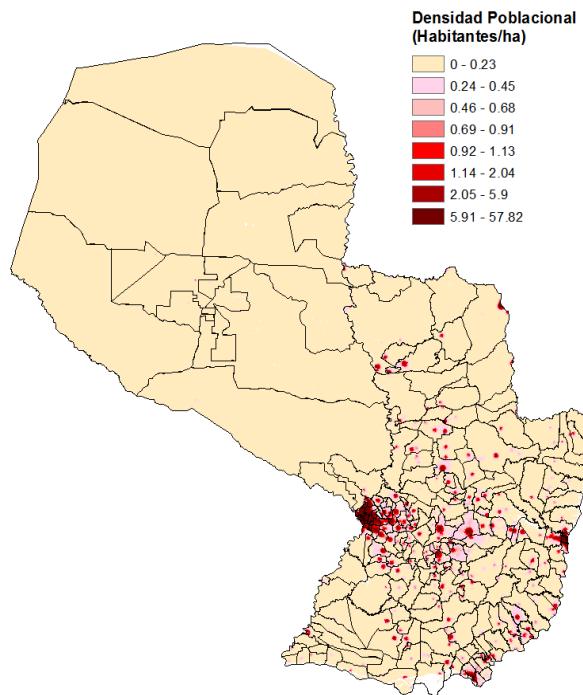
Por un lado se ha recogido la distribución de la población censada por distritos, de esta forma se ha capturado la información de las fuentes demográficas oficiales que tendrían que ser consistentes con los agregados económicos recogidos en el sistema de cuentas nacionales del país. Dicha información se ha extraído inicialmente del censo de población de 2002 y posteriormente se ha corroborado con los datos del censo de 2011.

Por otro lado se ha trabajado con sendas de distribución *raster* que ubican la población en el territorio al margen de las fronteras administrativas distritales, proporcionada por el *Center for International Earth Science Information Network* (CIESIN) de la Universidad de Columbia.

En tercer lugar el GAR, proporciona la distribución de la población en un *grid* de 5 km de paso (0.25°).

Por último se dispone de la información proporcionada por el proyecto *World Pop* del *Geo Data Institute* (Figura 42). El nivel de desagregación espacial de esta última (*raster* de 100 m x 100 m) y el papel central que juega la población en los procesos de análisis espacial, ha requerido un proceso de validación cruzada de todas estas fuentes. Comparadas todas ellas, se ha comprobado que ofrecen datos coherentes y adaptados al *grid* de población de 100 m por lo que se ha adoptado esta última como distribución de población a emplear tanto como dato del problema, como para realizar los procesos de desagregación espacial de otros datos que demuestren presentar una distribución espacial acorde con la distribución de la población.

Figura 42 - Distribución espacial de población del Paraguay grid
Representado en 100x100 m



Fuente: Proyecto WorldPop, 2017.

Una vez identificada la distribución espacial de la población en el presente, se ha realizado unas proyecciones de población ajustadas a las proyecciones oficiales de la DGEEC para a continuación definir las distribuciones esperables en el futuro a escala local.

Tras definir esta distribución, la misma es utilizada como instrumento de imputación de datos económico-espaciales generando los resultados descritos para distribuir los activos y los

daños en el territorio, obteniendo estimadores del capital inmobiliario asociados a la distribución de la población.

4.1.2 Distribución de la renta expuesta

El objetivo de este indicador es por un lado caracterizar los flujos de renta directamente afectados por los impactos ambientales y por otro lado es de caracterizar el nivel de renta de las unidades espaciales afectadas a fin de evaluar la gravedad relativa de los mismos, así como de analizar la capacidad de recuperación.

A partir de la población asociada a cada unidad espacial básica del *grid* de población y del indicador de renta distrital asociado al mismo dato de 2002, se caracteriza el valor de los flujos de renta anual detentados por los residentes en esa unidad espacial y en consecuencia se dispone de un indicador asociado a la actividad económica afectada. Se emplea el índice de renta distrital obtenido del trabajo Paraguay Pobreza y desigualdad de ingresos a nivel distrital con datos de 2002 publicado en 2004 por ser el último trabajo existente sobre distribución espacial de la renta.

A la vista de estos resultados se podría plasmar la distribución espacial de la renta que se presenta en la Tabla 11, en la que se puede comprobar cómo las áreas en las que la distribución espacial de renta y población no siguen la misma pauta, producen resultados ligeramente distintos de lo esperable según se observa en la tabla. Así, los distritos centrales del Paraguay occidental, Boquerón y Presidente Hayes, donde están situadas las colonias menonitas, presentan una concentración de rentas por encima de lo previsible a la vista de su densidad de población. Un efecto semejante ocurre en los distritos del Alto Paraná. Por el contrario, la aglomeración de Asunción presenta una alta concentración de población y renta.

Dado que los datos de renta son antiguos, se ha optado por elaborar un número índice de renta normalizando el ingreso por persona y dando valor 100 a la media del país, atribuyendo así un indicador de desarrollo relativo a cada distrito en función del valor existente. Este indicador se emplea posteriormente para evaluar la renta per cápita a escala distrital en años posteriores asumiendo, a falta de mejores datos, que la estructura espacial de la distribución de la actividad económica es bastante estable, y que la distribución espacial de la renta y del ingreso es paralela, lo cual solo es cierto en ausencia de efectos espaciales de la política de redistribución de la renta.

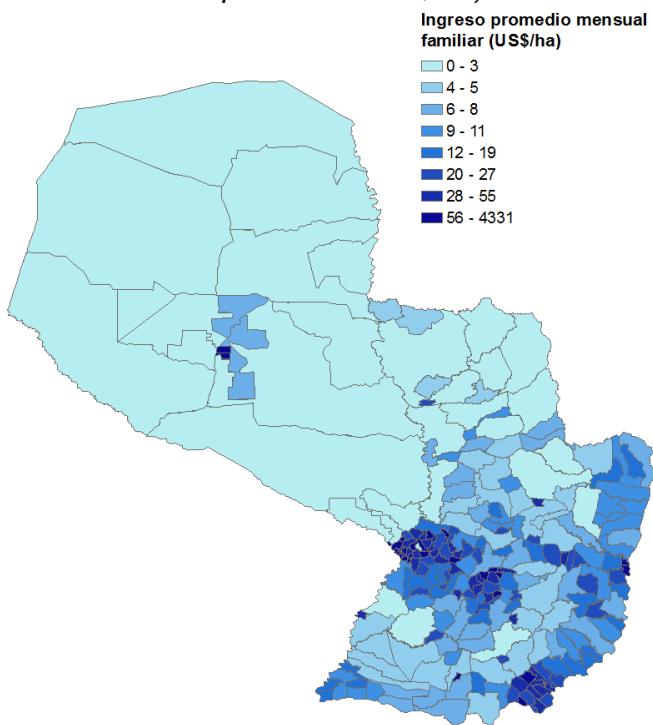
Tabla 11 - Ingreso promedio anual para el año 2002 por departamento
Expresado en US\$

Departamento	Familiar	Por persona	Índice de renta
Asunción	1.950,38	460,39	140,30
Concepción	1.052,07	203,66	62,06
San Pedro	1.046,87	207,89	63,35
Cordillera	1.369,45	299,28	91,20
Guairá	1.402,03	303,14	92,38
Caaguazú	1.330,43	266,72	81,28
Caazapá	1.307,17	266,21	81,13
Itapúa	1.704,17	365,71	111,44
Misiones	1.355,87	312,32	95,17
Paraguarí	1.385,13	306,44	93,38
Alto Paraná	1.855,53	400,42	122,02
Central	1.169,65	257,05	78,33
Ñeembucú	1.170,79	301,75	91,95
Amambay	1.453,23	312,15	95,12
Canindeyú	1.665,08	352,90	107,54
Presidente Hayes	1.790,44	380,81	116,05
Boquerón	2.591,28	582,61	177,54
Alto Paraguay	1.662,55	360,36	109,82
Total País	1.516,29	328,15	100,00

Fuente: DGEEC , 2003.

A partir de los ingresos por persona (Figura 43), en cada departamento se calcula un índice renta que compara los ingresos per cápita de cada departamento con la media del país (=100), que se ha empleado como instrumento para la desagregación espacial de las rentas de años posteriores.

**Figura 43 - Distribución espacial de ingresos familiares mensuales para el año 2002
Expresado en US\$/ha)**



Fuente: DGEEC , 2003.

4.1.3 Indicadores de activos expuestos (stock de capital)

El siguiente capítulo analiza la distribución de activos construidos susceptibles a ser dañados. A este respecto contamos con la información proporcionada por la UNISDR, que siguiendo la metodología de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), presenta la distribución de los activos producidos. El cálculo de estos valores es derivado de a) una serie larga que computa el inventario permanente de las inversiones públicas y privadas, b) una hipótesis de depreciación del capital en el tiempo y c) un criterio de imputación de las inversiones agregadas a los sectores. Esta distribución contiene los activos industriales, los residenciales, y los asociados al sector público (educativos, sanitarios y otros de titularidad pública), deduciendo de su valor la repercusión del valor del suelo que lógicamente no representa un activo susceptible de deterioro. Por otro lado, estos valores se revalidan a través de los resultados obtenidos por el Banco Mundial (2011), donde se establece una razón entre el valor del stock de capital construido y el PIB per cápita que

alcanza un promedio de 2,7 para los países estudiados. Con los datos de Paraguay, UNISDR, 2015 ofrece una proporción de 3,1, propio de un país con una productividad media del capital inferior a la media.

Por otro lado, se presenta la distribución espacial de infraestructuras públicas varias y puntuales que se consideran relevantes para caracterizar el impacto de las amenazas estudiadas.

Distribución del stock de capital residencial

Como ya mencionado, dentro de este capítulo se presentan los indicadores de capital residencial urbano del *Global Risk Data Platform (GRDP)* de UNISDR. Para su tratamiento, se ha extraído la distribución espacial en formato *grid* con resolución 0.25° y se ha desagregado a una resolución de 100 m asumiendo que la dosis de stock de capital per cápita es constante dentro de cada celda de 5 km de lado. Esta distribución se presenta en la Figura 44 para la localización de activos urbanos. Se comprueba como los nodos vectoriales se ajustan a la distribución *raster* de la densidad de población. Dichos nodos vectoriales contienen el valor de la renta, la población y el valor de los activos residenciales e industriales. En la Tabla 12 se presentan los totales de los datos recopilados para los distintos departamentos del país.

Tabla 12 - Stock de capital residencial 2014
 Representado en M US\$)

Departamento	Stock capital residencial (2014) M US\$
Asunción	2.255,54
Concepción	722,89
San Pedro	1.120,24
Cordillera	1.034,95
Guairá	760,93
Caaguazú	1.961,51
Caazapá	497,59
Itapúa	2.004,77
Misiones	413,21
Paraguarí	948,69
Alto Paraná	3.069,08
Central	9.177,32

Departamento	Stock capital residencial (2014) M US\$
Ñeembucú	297,53
Amambay	390,45
Canindeyú	493,06
Presidente Hayes	267,47
Boquerón	196,57
Alto Paraguay	55,63
Total País	25.667,44

Fuente: Elaboración propia.

Es conveniente destacar que al haber basado la estimación en la valoración del *stock* de capital residencial per cápita y no en un inventario de activos físicos, no se han calculado áreas urbanizadas, densidades de ocupación y valoraciones unitarias por m², sino que se ha localizado el capital allí donde residen las personas, a partir del valor residencial per cápita (disponible cada 5 km aproximadamente).

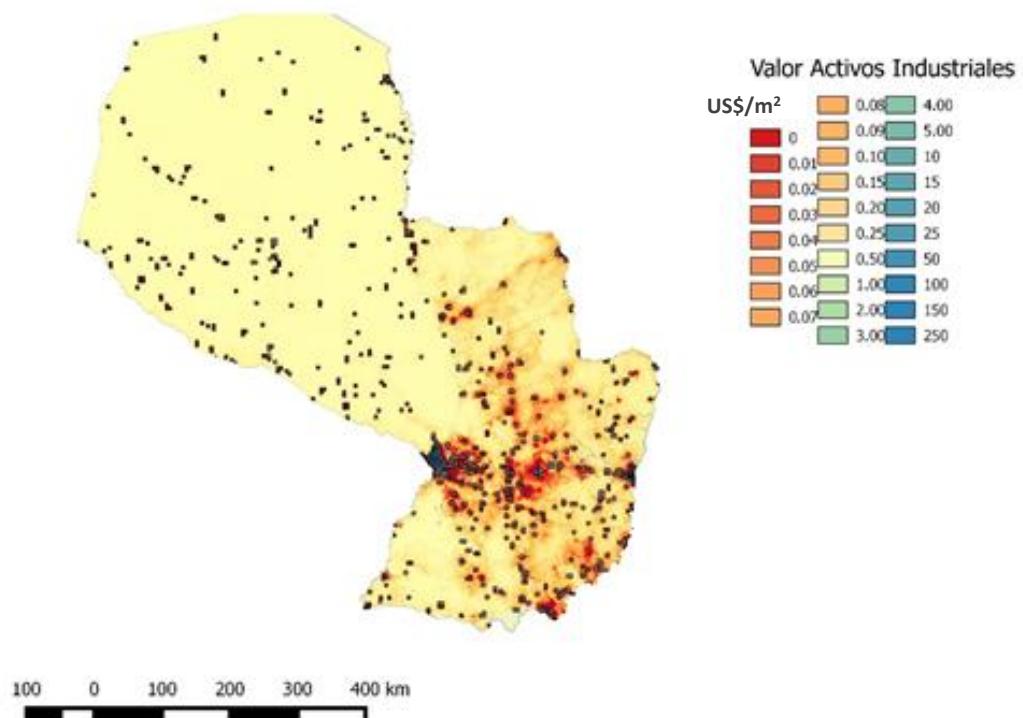
Distribución del stock de capital industrial y de servicios

La distribución del stock de capital industrial se ha basado en dos fuentes, por un lado el GRDP que presenta directamente una distribución del capital industrial y por otro lado, a partir de la ubicación del VAB industrial obtenido del censo de actividades económicas de 2008, se localizan los lugares donde se detecta la actividad que emplea dicho capital industrial.

A continuación, se adjunta la capa SIG en la que se localizan los activos urbanos industriales y los residenciales (Figura 44).

Figura 44 - Distribución Espacial de activos urbanos y correlación con la población.

Distribución espacial de Activos Industriales



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de UNEP y WorldPop, 2017.

De la distribución espacial observada, puede comprobarse la alta correlación entre áreas urbanas y localización de inversiones industriales, si bien la naturaleza dual de la implantación espacial entre los territorios occidental y oriental del país marca dos pautas distintas de distribución espacial.

Estos datos se emplean por un lado para caracterizar los activos expuestos y por otro para estimar una desagregación detallada de los flujos representativos de la actividad industrial. En la Tabla 13 se presenta el detalle del capital industrial por departamento.

Tabla 13 - Stock de capital industrial y servicios 2014 por departamento
Expresado en M US\$

DEPARTAMENTO	Stock Capital Industrial M US\$	Stock Capital Servicios M US\$	Stock Capital Industrial y Servicios
Asunción	1.364,43	2.991,29	4.355,73
Concepción	415,72	936,82	1.352,54
San Pedro	618,76	1.424,51	2.043,27
Cordillera	590,43	1.337,28	1.927,71
Guairá	435,50	983,31	1.418,81
Caaguazú	1.124,78	2.537,43	3.662,21
Caazapá	275,35	633,37	908,73
Itapúa	1.136,71	2.581,61	3.717,32
Misiones	231,45	529,38	760,83
Paraguarí	538,52	1.224,19	1.762,71
Alto Paraná	1.800,50	4.012,15	5.812,66
Central	5.494,30	12.113,71	17.608,01
Ñeembucú	167,39	382,08	549,46
Amambay	226,00	507,78	733,79
Canindeyú	272,97	627,75	900,72
Presidente Hayes	151,00	344,21	495,21
Boquerón	107,61	248,84	356,45
Alto Paraguay	31,07	71,22	102,29
Total País	14.982,52		48.468,45

Fuente: Elaboración propia con datos de UNISDR.

Es importante destacar que en el cálculo del stock de capital se ha empleado la desagregación sectorial de la fuente original entre el capital industrial y de servicios. Sin embargo, el censo de actividades económicas emplea para el PIB una desagregación entre PIB Industrial, Comercial y de Servicios. En consecuencia, se calculó el daño sobre el capital industrial y de servicios y las pérdidas por parada de actividad comercial industrial y de otros servicios. Asimismo, en este proceso de distribución espacial del PIB industrial y comercial, se emplearán las distribuciones de 5 km del capital industrial y de servicios, como instrumentos de desagregación. Por tanto el sector servicios no significa lo mismo cuando se lee en la fuente de stock de capital que en la fuente del censo de actividades económicas.

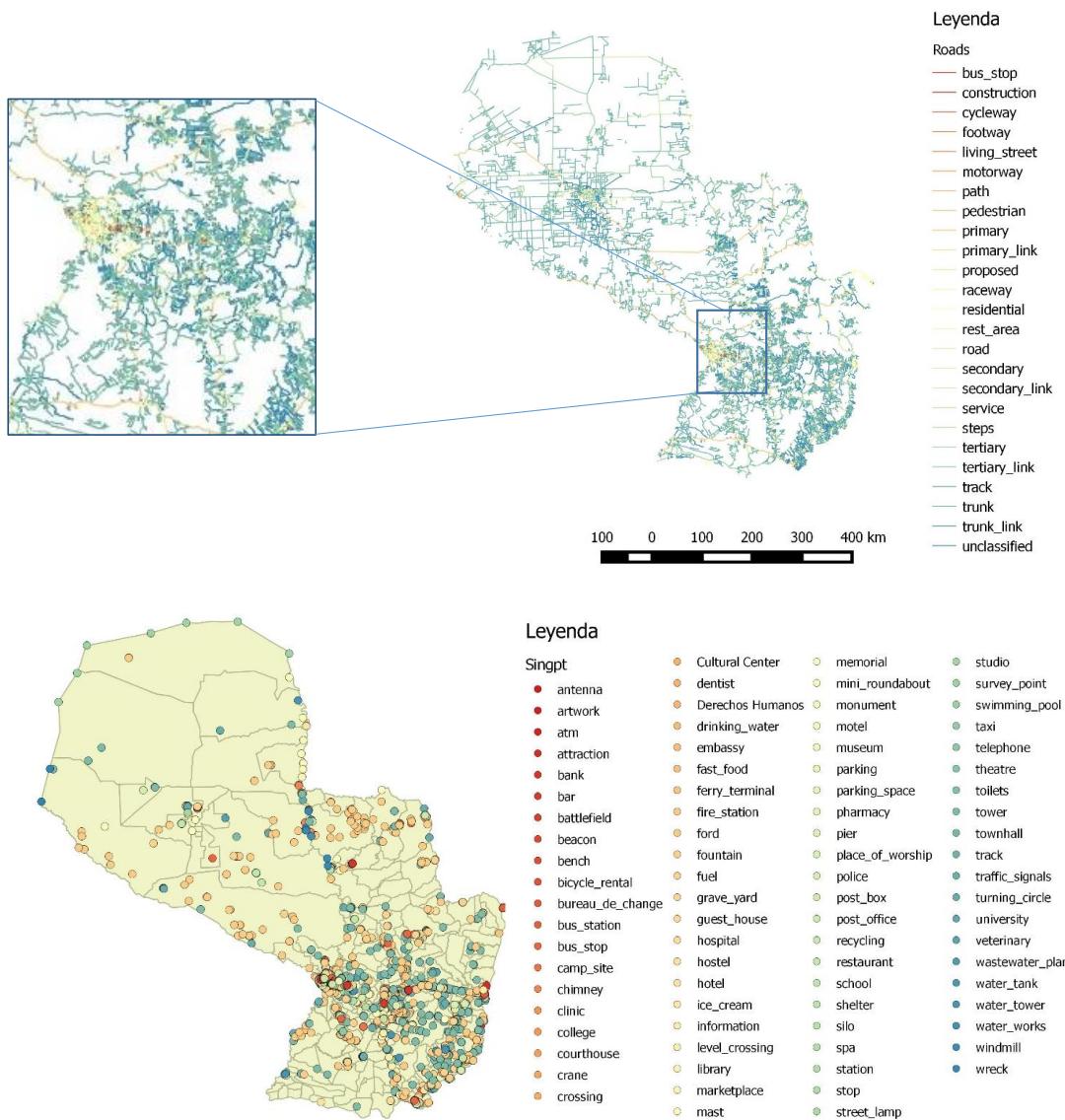
Distribución de infraestructuras expuestas

A partir de la clasificación de la red viaria de *Open Street Map*¹⁷, se ha construido una capa SIG con el viario georreferenciado que nos permite identificar las infraestructuras expuestas clasificadas de acuerdo con la naturaleza de las vías. Asimismo, este campo nos permite validar las fuentes anteriormente citadas que presentaban la distribución de población renta y capital físico (Figura 45, arriba).

De cara a evaluar los impactos resulta interesante considerar la ubicación de elementos singulares, que por la naturaleza de las actividades allí localizadas, pueden caracterizar impactos eventualmente relevantes. Al efecto de contemplar su aportación a la evaluación del impacto, se adjunta la imagen en la que se refleja la información disponible con todos los elementos de los que existe información (Figura 45, abajo). Puede comprobarse que se encuentra disponible información sobre la distribución de centros de enseñanza, centros sanitarios, farmacias, puentes, distribuidores de combustibles, carreteras, etc., fácilmente integrables en un SIG que enriquecen la información existente sobre la vulnerabilidad.

¹⁷ Open Street Map es un proyecto cooperativo de generación de mapas con información georreferenciada de acceso libre que presenta información SIG en formato vectorial con una calidad creciente basada en la cooperación de los usuarios. <http://www.openstreetmap.org>.

Figura 45 - Distribución Espacial de Infraestructuras viarias y Elementos Singulares



Fuente: Open Street Map, 2017.

En la Tabla 14 adjunta se presentan las estimaciones del capital fijo de titularidad pública medido en unidades monetarias junto a sendas estimaciones de la distribución del capital físico en el territorio basadas en las infraestructuras lineales existentes y en la densidad espacial de las mismas, que observadas conjuntamente permiten caracterizar la dotación de capital en las áreas afectadas.

Tabla 14 - Tabla Stock de capital Público 2014
Expresado en M US\$

Departamento	Stock Capital Público M US\$	Km vías Acumuladas Open St Map	Densidad Km via/km2
Asunción	1.587,71	1.799,53	12,530
Concepción	505,96	4.494,52	0,220
San Pedro	777,16	6.224,67	0,271
Cordillera	725,95	2.940,08	0,552
Guairá	530,65	2.632,29	0,617
Caaguazú	1.369,35	6.513,73	0,455
Caazapá	335,53	2.945,65	0,276
Itapúa	1.398,47	8.261,63	0,458
Misiones	288,82	2.396,57	0,238
Paraguarí	667,87	3.917,94	0,402
Alto Paraná	2.149,87	7.090,64	0,451
Central	6.454,71	8.421,63	3,129
Ñeembucú	208,44	2.729,45	0,212
Amambay	274,19	2.622,74	0,192
Canindeyú	342,47	3.885,01	0,235
Presidente	187,79	10.399,20	0,130
Boquerón	135,75	465,82	0,138
Alto Paraguay	38,88	5.487,06	0,066
Total País	17.989,61	83.228,16	0,220

Fuente: *Elaboración propia.*

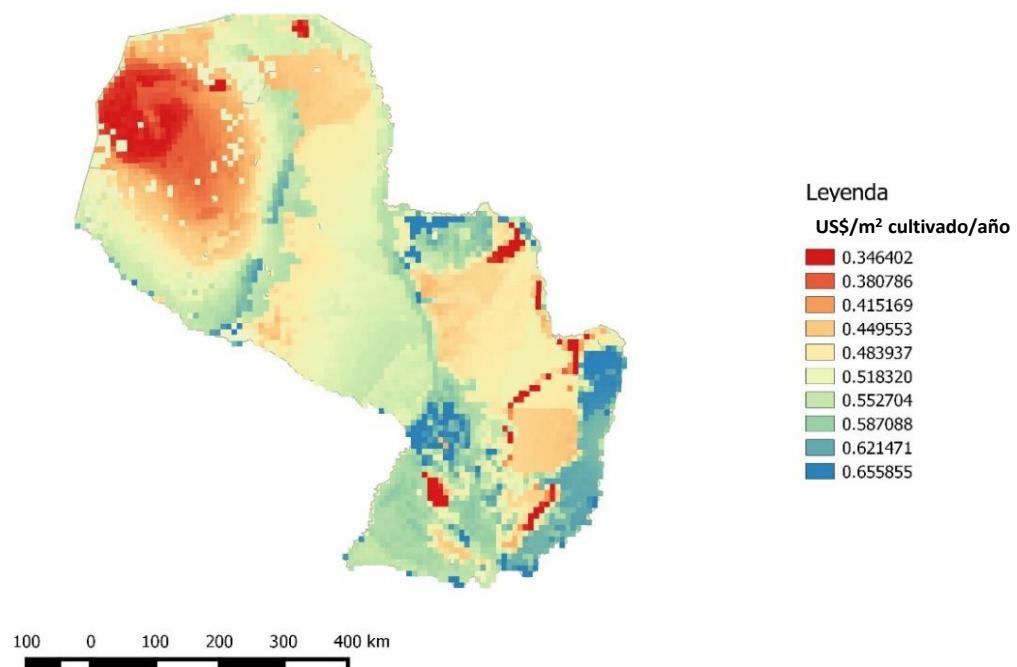
4.1.4 Indicadores de flujos económicos

Una vez caracterizada la distribución de activos expuestos susceptibles al sufrir un daño, se procede a evaluar los indicadores representativos de las actividades económicas desarrolladas desagregándolas en el territorio, para ello caracterizaremos los distintos conceptos y totalizaremos las cifras asociadas a las zonas inundables. No obstante, es relevante aclarar que no se trata de incurrir en una doble contabilización la valoración de los activos expuestos que es relevante para el cálculo del daño emergente o daño directo, y la valoración de los flujos alterados que es importante para valorar el lucro cesante o daño indirecto. El primero corresponde con el daño sufrido por los activos susceptible de ser reparados y el segundo nos permite estimar la producción no alcanzada. De esta forma dispondremos de la información necesaria para calcular los daños indirectos por pérdida de actividad.

4.1.4.1. Distribución de actividades agropecuarias

La actividad agropecuaria se ha caracterizado espacialmente usando varias fuentes. Por un lado se dispone del VAB agropecuario proporcionado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) de 2013 que se suministra en sendas capas SIG con productividad por m^2 y año y producción anual total por unidad espacial y por otro lado se dispone de los datos del censo agrario distrital (2008) que aporta las hectáreas cultivadas y la producción obtenida para distintas clases de cultivos. De este modo se ha representado en la Figura 46 y en la Figura 47, la productividad agraria de cultivo y de suelo respectivamente.

Figura 46 - Distribución espacial del valor de la productividad agraria para el 2013

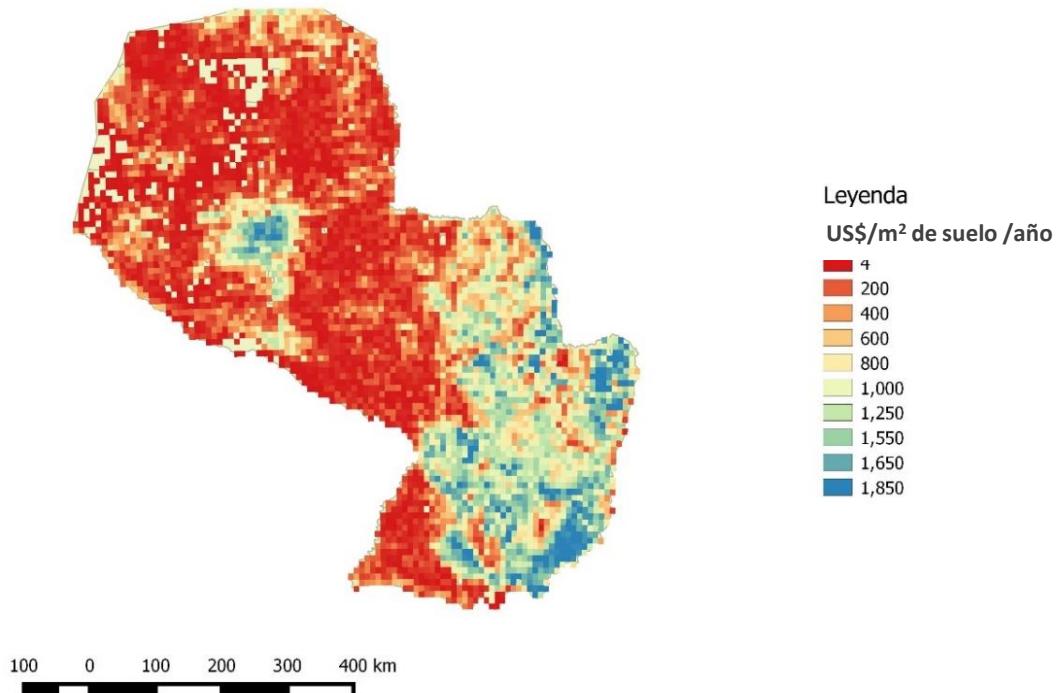


Fuente: FAO, 2013.

Los resultados indican que las áreas cultivadas en los márgenes del Paraná son las de mayor productividad y concentración de valor de la producción agregada. Al objeto de poder identificar la intensidad y/o la magnitud de los parámetros que se quieren analizar, se ha dividido entre la superficie para normalizar las áreas de comparación. Generalmente la extensión considerada ha sido la hectárea (ha). De este modo se puede comparar la misma

extensión de superficie (ej. ha) de distintos distritos para una misma variable permitiendo analizar la cuantía de la misma.

Figura 47 - Distribución espacial del valor de producción agraria 2013
Expresado en US\$/m² año



Fuente: FAO, 2013.

Los datos presentados en los mapas se han obtenido a partir de datos publicados por la FAO para el año 2000. A continuación, a partir de los datos de la distribución de producción agrícola, se ha distribuido el PIB agrícola del 2014 obtenido por el Banco Mundial asumiendo que la distribución espacial de la actividad agraria se mantiene constante. El resultado de este cálculo se presenta a continuación en la Tabla 15.

Tabla 15 - Tabla de PIB agrícola 2014
Expresado en M US\$

Departamento	PIB Agrícola 2014 M US\$
Asunción	2,78
Concepción	298,61
San Pedro	302,05
Cordillera	92,15
Guairá	60,59
Caaguazú	181,90
Caazapá	153,28
Itapúa	267,84
Misiones	145,29
Paraguarí	135,27
Alto Paraná	236,07
Central	45,76
Ñeembucú	191,01
Amambay	174,39
Canindeyú	218,34
Presidente	1.142,20
Boquerón	1.065,97
Alto Paraguay	1.011,90
Total País	5.725,39

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los datos censales, se han recopilado los datos de producción agrícola, cuyos mapas se adjuntan en el Anexo D. Los cultivos principales son la soja y el maíz los cuales se han representado por hectárea desagregado a escala distrital.

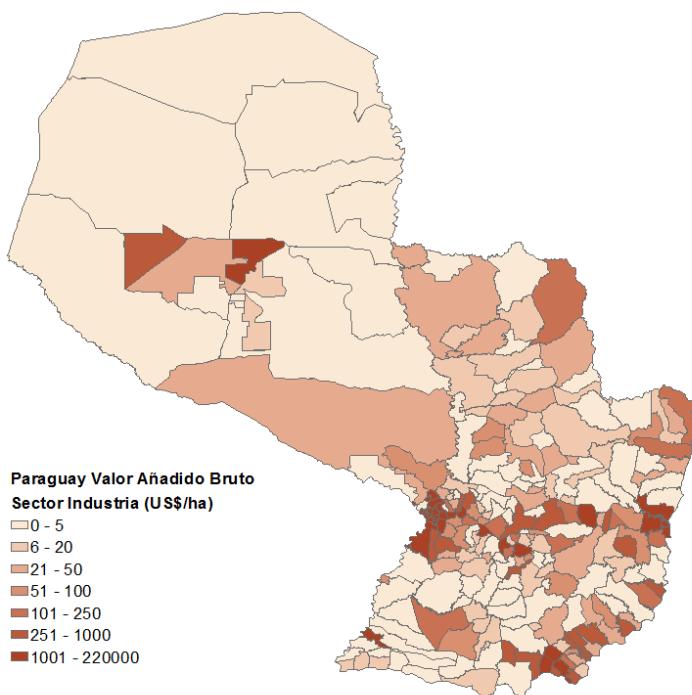
De igual modo, procedente del censo agrario de 2008 se ha obtenido la concentración de cabezas de ganado (número de vacas) por hectárea de pastura y los litros al día de producción de leche, al objeto de analizar la exposición a la que se somete la ganadería existente en cada distrito.

4.1.4.2. Distribución espacial de la actividad industrial

A partir del censo de actividades económicas de 2011 se han representado los siguientes indicadores desagregados que permiten de nuevo caracterizar la actividad económica industrial y comercial. Se ha representado la distribución espacial del VAB industrial por

hectárea (Figura 48), el número de trabajadores, el salario anual y las empresas existentes en este sector. Cabe destacar de nuevo que la desagregación sectorial del VAB del censo económico separa los valores del sector servicios en flujos de servicios comerciales y flujos de servicios no comerciales, a diferencia de los resultados del stock de capital que agrega todos los servicios en un único valor.

Figura 48 - Distribución espacial del valor añadido bruto industrial
Expresado en VAB US\$/ha



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 16 se presenta el VAB del sector industrial agregado a nivel de departamento distribuido en sus componentes: Remuneración de asalariados, excedente de explotación y consumos intermedios. Estas magnitudes caracterizan la distribución de los flujos de renta derivados de la actividad industrial disponibles a escala distrital. Asimismo, se presenta la estimación del VAB correspondiente al año 2014 que es el año de referencia de los datos económicos del estudio.

**Tabla 16 - Caracterización del sector industrial
Expresado en VAB (M US\$)**

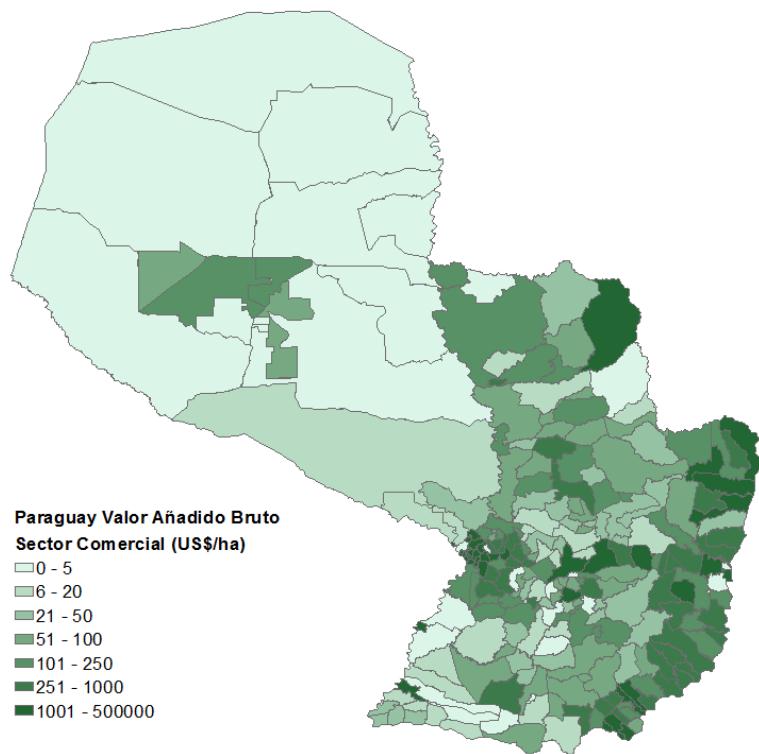
Departamento y sector económico industria	Unidades económicas	Personal ocupado	Total de remuneración	(1) Gastos por compras de bienes y servicios	(2) Ingresos por suministro de bienes y servicios	(2)-(1) Excedente explotación	Estimación VAB 2014
				Personas	(M US\$)	(M US\$)	(M US\$)
TOTAL	24.704	152.764	1.087,833	6.609,390	11.665,470	5.056,081	8.036,880
ASUNCIÓN	3.692	39.792	604,300	1.754,021	4.755,616	3.001,595	4.771,178
CONCEPCIÓN	572	1.877	2,955	26,062	36,184	10,122	16,089
SAN PEDRO	493	1.641	3,632	21,957	31,344	9,387	14,921
CORDILLERA	922	3.519	7,937	34,527	53,969	19,442	30,904
GUAIRÁ	756	3.436	14,409	90,814	145,978	55,164	87,686
CAAGUAZÚ	1.465	6.080	14,371	171,980	229,717	57,737	91,776
CAAZAPÁ	231	547	0,593	4,508	7,482	2,974	4,727
ITAPÚA	2.079	9.493	29,572	469,947	565,004	95,057	151,098
MISIONES	354	939	2,226	15,016	24,609	9,592	15,247
PARAGUARÍ	444	1.622	5,926	48,153	60,314	12,161	19,330
ALTO PARANÁ	2.810	14.158	55,708	576,711	824,303	247,592	393,559
CENTRAL	9.328	59.53004	297,668	2.519,940	3.859,869	1,339.929	2.129,881
ÑEEMBUCÚ	355	2.124	9,006	40,379	54,209	13,829	21,982
AMAMBAY	540	1.869	5,849	35,348	51,196	15,848	25,191
CANINDEYÚ	321	1.508	3,806	91,732	110,142	18,410	29,264
PRESIDENTE	194	1.745	8,223	269,199	308,247	39,048	62,069
BOQUERÓN	138	2.853	21,628	438,869	546,911	108,042	171,738
ALTO PARAGUAY	10	27	0,024	0,227	0,377	0,151	0,240

Fuente: DGEC, 2011.

4.1.4.3. Distribución espacial de la actividad comercial y de servicios

Se presenta a continuación la distribución espacial del VAB del sector comercial en cada distrito (Figura 49). El resto de indicadores se adjuntan en el Anexo D.

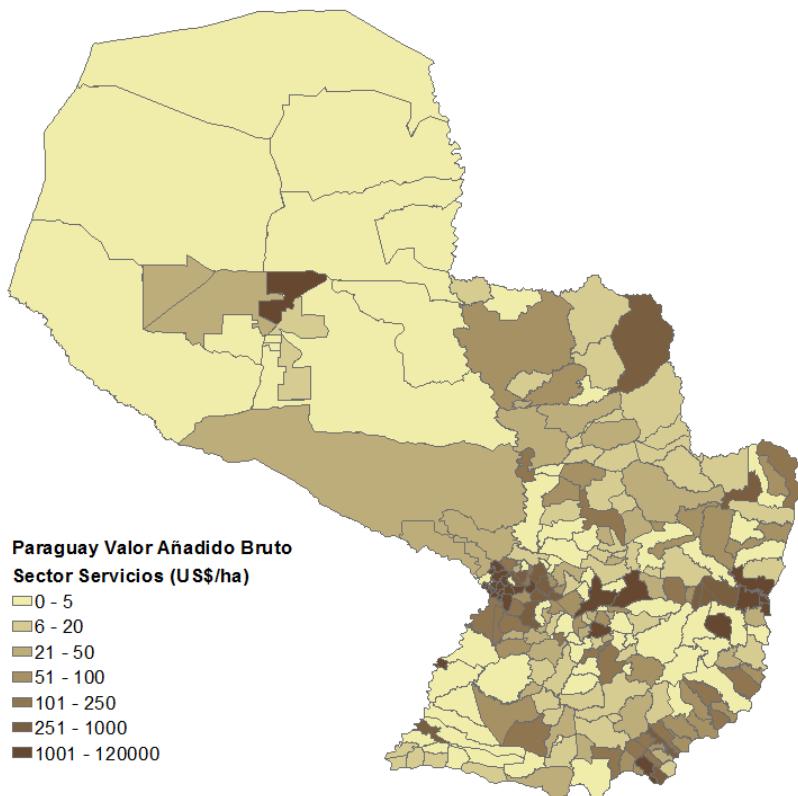
**Figura 49 - Distribución espacial valor añadido bruto del sector comercial
Expresado en VAB/ha**



Fuente: Elaboración propia.

De nuevo, a partir del censo de actividades económicas se ha podido identificar la densidad de actividades comerciales. Al igual que para el sector industrial, se ha representado la distribución espacial del VAB del comercio por hectárea, el número de trabajadores, el salario anual y las empresas existentes en este sector (Figura 50).

Figura 50 - Distribución espacial del valor añadido bruto del sector servicios no comerciales
Expresado en VAB/ha



Fuente: Elaboración propia.

Se comprueba con las colonias menonitas del centro del Paraguay Occidental, que si bien presentan concentraciones de rentas significativas a escala distrital aparecen diluidas en los datos agregados a escala de Departamento. Esta situación ilustra la necesidad de trabajar a un nivel de escala lo más detallada posible para evitar perder detalles de dinámicas locales.

Existe claramente una regularidad espacial en términos de población stock de capital y actividad económica que se concentra en el núcleo de Asunción, en el eje transversal medio del Paraguay Oriental y en la zona del curso alto del Río Paraná, junto con las colonias menonitas del Paraguay Occidental.

El peso de las actividades industriales, comerciales y de servicios no localizadas en grandes núcleos urbanos en el territorio resulta ser poco relevante. Sin embargo, cabe recordar que,

dado que dichas zonas presentan las economías más deprimidas y actividades más ligadas al sector primario, resultan las más expuestas a las alteraciones de origen ambiental y climático.

En la Tabla 17 se presenta el VAB del sector servicios agregada a nivel de Departamento distribuido en sus componentes: Remuneración de asalariados, Excedente de explotación y Consumos intermedios. Estas magnitudes caracterizan la distribución de los flujos de renta derivados de la actividad comercial a escala distrital. Los salarios de servicios se concentran en el núcleo metropolitano de Asunción que con el 32% del empleo genera el 63% de la masa salarial y el 39% de los excedentes empresariales por un total del 44% del valor añadido del sector. En un segundo lugar aparecen los departamentos del Alto Paraná y Central que reúnen el 15% y el 25% respectivamente del empleo de servicios, el 15 y el 20% de la masa salarial del sector, el 18 y 21 % de los excedentes empresariales del sector y el 18 y 21 % del valor añadido del sector.

Finalmente, se adjunta en la siguiente tabla, la distribución espacial del VAB que ocupa el sector servicios por hectárea. Al igual que en los sectores comercial e industrial el número de trabajadores del sector, su salario anual y el número de empresas dedicadas a los servicios se adjuntan en el Anexo D.

Presentamos a continuación los datos departamentales correspondientes a las componentes del VAB (disponibles a escala distrital). Como en la tabla anterior, se presentan los datos originales del Censo económico de 2011, junto a la estimación para el 2014 ajustada a los datos del VAB sectorial publicado por el Banco Mundial.

Tabla 17 - Caracterización del sector servicios
Expresado en VAB M US\$

Departamento y sector económico. Servicios comerciales y no comerciales	Unidad económica	Personal ocupado	Total de remuneración	(1) Gastos por compras de bienes y servicios	(2) Ingresos por suministro de bienes y servicios	(2)-(1) VAB sectorial	Estimación VAB 2014
		Personas	(M US\$)	(M US\$)	(M US\$)	(M US\$)	(M US\$)
Total	199,538	646,389	2.234,753	35.695,500	45.767,082	10.071,582	14.101,200
ASUNCIÓN	37.547	202.834	1.188,285	13.884,297	18.336,751	4.452,454	6.233,871
CONCEPCIÓN	4.670	11.805	18,054	231,282	308,006	76,725	107,423
SAN PEDRO	4.955	12.160	17,729	252,347	333,484	81,137	113,600
CORDILLERA	2.227	11.576	14,592	177,851	239,530	61,679	86,357
GUAIRÁ	4.678	10.899	14,107	152,787	207,650	54,863	76,814
CAAGUAZÚ	10.282	26157	45,987	680,054	975,777	295,722	414,040
CAAZAPÁ	1.832	4.089	3,923	62,410	81,813	19,403	27,166
ITAPÚA	17.662	45.387	110,939	2.704,727	3.189,409	484,682	678,602
MISIONES	2.866	6.893	10,371	90,135	122,794	32,658	45,724
PARAGUARÍ	3.793	7.855	5,863	96,692	130,290	33,598	47,040
ALTO PARANÁ	32.741	99.282	293,964	9.783,284	11.590,815	1.807,531	2.530,720
CENTRAL	57.672	161.101	380,368	4.899,260	6.977,495	2.078,235	2.909,732
ÑEEMBUCÚ	3.042	6.691	11,149	106,402	150,890	44,488	62,288
AMAMBAY	5.709	16.633	39,090	974,218	1167,184	192,966	270,171
CANINDEYÚ	3.964	11.492	26,356	808,617	984,748	176,131	246,601
PRESIDENTE HAYES	2.258	5.018	6,851	131,362	166,613	35,250	49,353
BOQUERÓN	660	6.214	47,036	655,914	798,698	142,784	199,912
ALTO PARAGUAY	145	303	0,087	3,858	5,135	1,276	1,787

Fuente: DGEC, 2011.

4.1.5 Resumen del valor expuesto a inundaciones y sequías

De acuerdo a esta metodología de modelización y cálculo, teniendo en cuenta los indicadores de población, renta y activos expuestos, el stock de capital industrial e infraestructuras, las actividades agropecuarias, la actividad industrial, la comercial, los servicios, y los indicadores de pobreza y desigualdad, se han recopilado y agregado los valores del PIB y del VAB de los sectores mencionados.

- Valor del PIB de Paraguay US\$ 30.985 M de 2014

- Valor del VAB de Paraguay US\$ 27.867,47 M de 2014
- Ajustes por servicios bancarios y derechos arancelarios US\$ 3.118,39 M de 2014
- % de VAB Agrícola 20,2 % (US\$ 5.725,39 M de 2014)
- % de VAB Industrial 28,3 %(US\$ 8.036,88 M de 2014)
- % de VAB Servicios 51,5 %(US\$ 14.101,20 M de 2014)
- Valor del Stock de capital construido de la economía paraguaya US\$ 92.569 M de 2014
- % Valor Stock del capital Residencial 27,8 %
- % Valor Stock del capital Industrial 16,2 %
- % Valor Stock del capital Servicios 36,3 %
- % Valor Stock capital público, sector educativo y sector sanitario 19,5 %

Los datos del VAB distribuido se han ajustado, por un lado, a los disponibles en el Censo de Actividades Económicas de 2011, y por otro, a los datos nacionales publicados para el año 2014 por el Banco Mundial. Cabe señalar que el valor del PIB y el VAB difieren en las partidas de servicios bancarios imputados y derechos arancelarios por importaciones.

$$\text{PIB} = \text{VAB} - \text{SBI} + \text{DA}$$

En este análisis se usó el VAB por ser el dato disponible en el censo económico.

A efectos de simplificar la información, se presentan agregados los sectores industria y servicios, dada la alta correlación espacial de los dos capítulos.

Una vez cuantificado el valor de los indicadores de población, renta, y activos expuestos del país, se ha valorado que parte de los mismos es objeto de exposición efectiva frente a la inundación. Las zonas sometidas a los fenómenos de inundación poseen en la actualidad un valor de sus activos que suponen entre un 3,5% (T10) y un 4,6% (T500) del total del *stock* del capital de la economía paraguaya. Por otro lado, en las zonas inundables se desarrollan actividades económicas que representan entre un 3,3% y un 6,5% de la actividad total del país, entre el rango de los períodos de retorno considerados de T10 y T500 respectivamente.

Respecto al valor expuesto por sequías, dicho problema ha sido analizado bajo un enfoque global frente al análisis de los efectos locales del riesgo de inundación, (tiene sentido hablar de inundación en un punto o en otro, pero no de sequía en un punto o en otro). La sequía

presenta pequeña variabilidad espacial por lo que no se considera operativa la distinción entre la exposición y la exposición efectiva. Asimismo, los indicadores de severidad e intensidad de la sequía han sido objeto de un estudio global para todo el país.

Las diferencias entre el peso relativo del capital industrial y de servicios se derivan de la menor dimensión del sector primero, ya que la industria es mucho más capital intensiva que los servicios, y por tanto mucho más vulnerable a los impactos directos por deterioro de activos. Por el contrario, los servicios serán más vulnerables ante efectos indirectos por parálisis de actividad al ser menos capital intensivo.

Los indicadores estudiados en el presente capítulo de exposición han permitido caracterizar las magnitudes representativas de la actividad económica cuyo desempeño en presencia de las amenazas estudiadas es objeto de análisis en el capítulo siguiente. Y por otro lado, se ha construido un sistema de indicadores detallados que permiten definir el nivel de daños y riesgos en las áreas que están en situación más vulnerable.

El propósito de estos indicadores es, para el valor de *stock* evaluado, permitir abordar la estimación del daño emergente, y para la valoración de los flujos, permitir estimar el lucro cesante.

Finalmente, cabe mencionar que la calidad de los datos recopilados, y el tratamiento estadístico de los mismos, ha requerido homogeneizar las series con el mayor nivel de detalle asociados a una misma distribución espacial, en este caso a nivel de distrito independientemente de fechas.

Cabe destacar que, las distintas regiones del país a nivel de distrito han visto considerables modificaciones a lo largo del tiempo. Por este motivo, los datos existentes asociados a cada uno de los censos (población, agrario, actividades económicas, etc.) han variado con la estructura administrativa vigente en el momento de su uso en función de la extensión y de la población asociadas a los mismos en cada periodo. Por lo tanto, en función del año considerado, se han imputado espacialmente los datos recogidos a una estructura espacial administrativa de trabajo que es la envolvente de todas las observadas.

En ese proceso se han aplicado ratios de reparto basados en dimensiones físicas y humanas para la asignación de datos a aquellos distritos inexistentes en el momento de la publicación

de los censos, consiguiendo así homogeneizar la información disponible tanto a nivel espacial como a nivel temporal.

A continuación, se describen los elementos expuestos a los incendios como última fase del análisis que se ha llevado a cabo en el apartado de exposición a las tres amenazas.

4.2 Elementos expuestos a Incendios Forestales

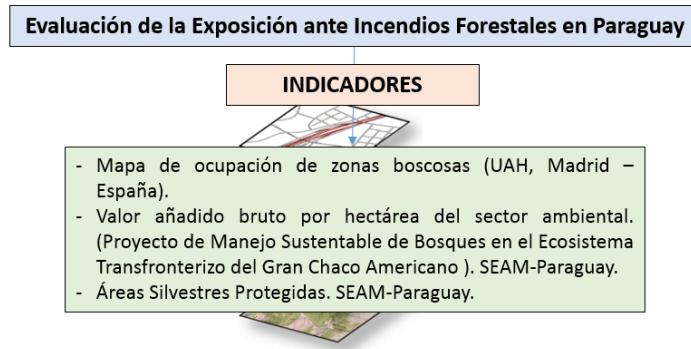
Tal y como se introdujo anteriormente, la mayor parte de los incendios forestales tienen origen antrópico causados directa o indirectamente ya sea por acciones indirectas muy arraigadas en las costumbres de manejo de pastizales y zonas agrícolas o boscosas, o directamente por actos voluntarios de quema de zonas boscosas para liberar terreno con destino a uso agrícola. En el caso concreto de Paraguay, en los últimos años esto ocurre principalmente con el cultivo de la soja.

Ante la ausencia de datos detallados relativos a los daños causados por incendios forestales en el país, se ha optado por aplicar un enfoque práctico orientado a la evaluación de la pérdida económica que genera esta amenaza sobre las masas forestales maderables o potencialmente maderables. Asimismo, se han considerado por su valor ecológico “intangible” las zonas boscosas no destinadas a aprovechamiento maderable como ser las zonas naturales protegidas que se asume tienen un mayor potencial económico. Las zonas meramente agrícolas no formaron parte de este análisis.

Las bases de información usadas para este trabajo han sido el mapa de ocupación de zonas boscosas elaborado por la Universidad de Alcalá de Henares (2012) y el mapa de áreas silvestres protegidas editado por la Secretaría de Ambiente (SEAM) (2007).

En la Figura 51 se muestran los indicadores de evaluación de exposición frente a incendios forestales a nivel nacional. La metodología de elaboración es la misma que la ya explicada en el cálculo del mapa de amenaza o susceptibilidad ante incendio forestal, es decir, se ha realizado a través del uso de SIG atribuyendo un incremento del valor del 20% sobre el valor nominal de la ecorregión a las zonas protegidas con la intención de destacar el valor intangible que tienen estas zonas.

Figura 51 - Esquema de la metodología de evaluación de exposición frente a incendios a nivel nacional



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la Tabla 18 se presentan los resultados resumidos del proceso de cruce de bases de información antes descritas, así como el resultado de valor expuesto nominal estimado por Departamento y para el conjunto del país.

El cálculo del valor nominal aproximado se ha obtenido como el producto de la superficie ocupada por zonas boscosas y el valor nominal por ecorregión (SEAM, 2011) calculado para cada uno de los departamentos.

Tabla 18 - Superficies y valor nominal estimado por departamento ante amenaza de incendio forestal

Expresado en ha, porcentaje, m US\$ y US\$/ha

Departamento	Sup. dpto (ha)	Sup. zonas boscosas (ha)	% Ocupación zonas boscosas	Valor nominal aproximado (M US\$)	Valor nominal medio departamento (US\$/ha)
Alto Paraguay	7.757.157	7.211.003	92,96%	3.244,16	418,22
Alto Paraná	1.416.217	295.061	20,83%	219,00	154,64
Amambay	1.266.064	488.857	38,61%	260,14	205,47
Asunción	12.385	156	1,26%	0,10	8,09
Boquerón	8.945.201	7.315.714	81,78%	3.261,91	364,65
Caaguazú	1.305.795	312.322	23,92%	263,21	201,57
Caazapá	938.505	309.546	32,98%	251,29	267,76
Canindeyú	1.503.837	519.569	34,55%	394,55	262,36
Central	240.313	24.733	10,29%	27,22	113,28
Concepción	1.838.405	1.018.383	55,39%	609,52	331,55
Cordillera	475.471	121.725	25,60%	139,13	292,62

Departamento	Sup. dpto (ha)	Sup. zonas boscosas (ha)	% Ocupación zonas boscosas	Valor nominal aproximado (M US\$)	Valor nominal medio departamento (US\$/ha)
Guaira	397.164	99.936	25,16%	84,44	212,60
Itapúa	1.566.563	529.687	33,81%	410,90	262,29
Misiones	847.246	57.487	6,78%	45,78	54,04
Ñeembucú	1.154.471	16.243	1,41%	12,94	11,21
Paraguarí	868.506	123.024	14,16%	113,98	131,23
Presidente Hayes	7.373.146	5.062.865	68,67%	2.665,10	361,46
San Pedro	2.063.693	953.054	46,18%	872,34	422,71
TOTALES	39.970.141,13	24.459.358		12.875,71	226,43

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la SEAM, 2011 y la Universidad de Alcalá de Henares.

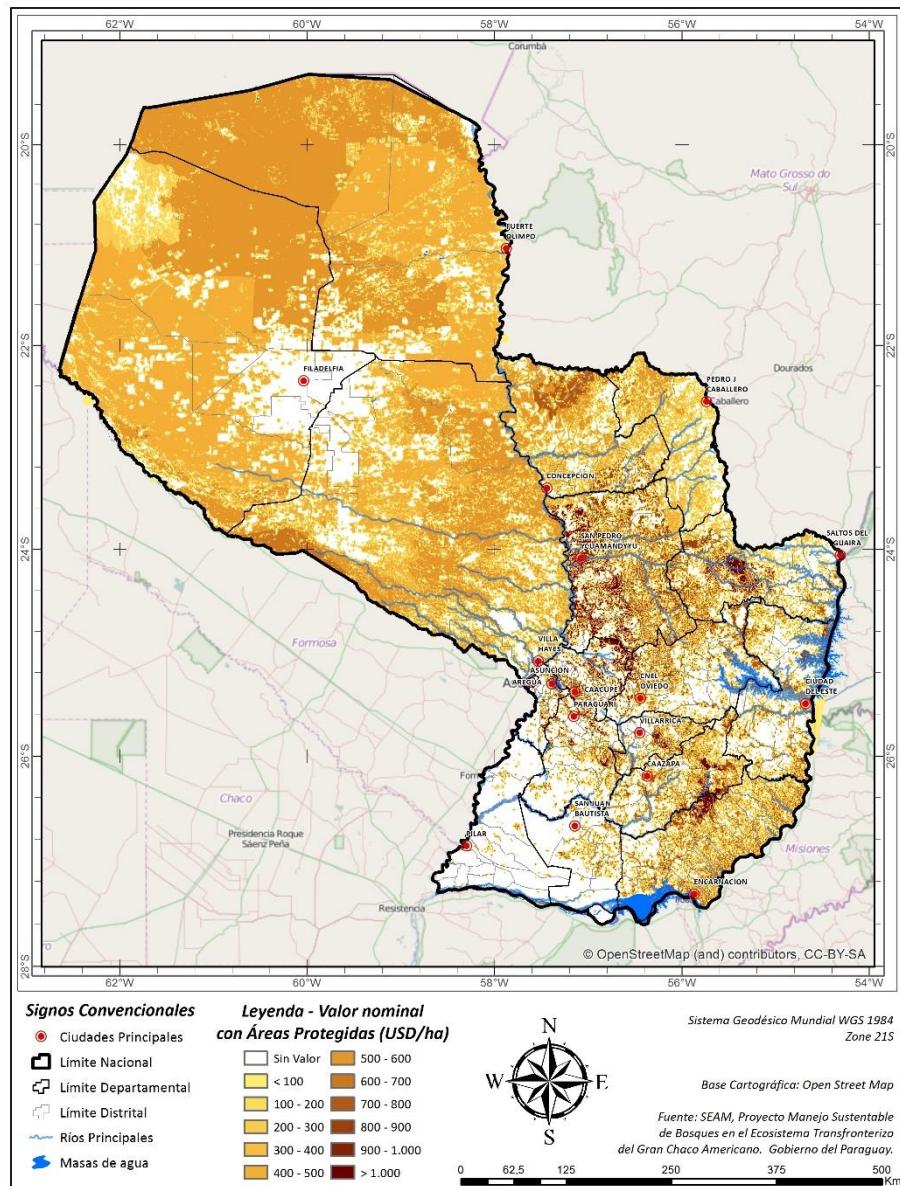
De acuerdo al resultado plasmado en la tabla anterior, el valor nominal de la masa forestal maderable del país es de un orden de magnitud de unos US\$ 12.800 M en el año 2014. En términos absolutos destacan los departamentos de Boquerón, Alto Paraguay y Presidente Hayes con respectivamente US\$ 3.262 M, US\$ 3.244 M y US\$ 2.665 M de aportación, es decir, los tres departamentos que componen el Chaco paraguayo, mientras que en términos relativos sobresalen: San Pedro, Alto Paraguay, Boquerón y, una vez más, Presidente Hayes con US\$ 423 M, US\$ 418 M, US\$ 364 M y US\$ 361 M por hectárea respectivamente.

Estas conclusiones coinciden con la valoración según ecorregiones realizada por la SEAM que muestra que los departamentos de San Pedro, Alto Paraguay, Boquerón y Presidente Hayes destacan por su alto valor de áreas de bosques naturales tomando en cuenta que los departamentos de San Pedro, Alto Paraguay y Presidente Hayes componen alrededor del 60% de la totalidad de la superficie del país.

A modo de resumen, a continuación se muestra en la Figura 52 la representación gráfica de elementos expuestos (valor nominal calculado) a nivel nacional de incendios forestales en Paraguay. En el Anexo D de este documento se encuentra la descripción íntegra de la metodología y bases de datos utilizadas para la obtención del mismo.

Cabe destacar nuevamente que para estos cálculos únicamente se han considerado las áreas forestales del país, dejando a un lado las zonas de cultivos, por centrarse el perfil de riesgos en los incendios forestales.

Figura 52 - Distribución espacial de valor nominal de elementos expuestos ante incendios forestales



Fuente: Elaboración propia con datos de SEAM, 2017.

4.3 Análisis de la vulnerabilidad

El análisis de la vulnerabilidad de la población paraguaya ante las amenazas estudiadas se presenta a través de la caracterización de las funciones de vulnerabilidad que evalúan los daños producidos por cada amenaza en cada sector. Este proceso requiere conciliar el detalle de las funciones representativas de las afecciones de cada sector con la valorización monetaria consistente de las mismas.

El procedimiento que se ha seguido para las amenazas de inundación y sequía ha sido abordar el análisis de los distintos conceptos en que se desagrega la exposición, personas, stock de capital y flujos económicos y para cada uno de ellos obtener, por un lado, la afección sufrida (amenaza presente) y, por otro lado, la cuantificación del impacto sufrido a partir de la vulnerabilidad del elemento a la afección sufrida (daños directos e indirectos).

La vulnerabilidad ante incendios forestales se ha estimado de otra forma, aplicando distintos niveles de daño hipotético de acuerdo a la recurrencia de incendio registrada en el periodo del que se dispone de datos.

4.3.1 Vulnerabilidad frente a inundaciones

Impacto a las personas

Se ha analizado el impacto sobre las personas que se ven afectadas a través del recuento de la población localizada en las áreas inundadas, independientemente de la intensidad del evento de la inundación y su duración.

Para ello, se analizó la distribución espacial de la población (*grid* de 0.25° de resolución) y de las inundaciones para identificar la población directamente afectada por las inundaciones. Esto implica asumir como función de vulnerabilidad, la función identidad equiparando exposición local a daño potencial. De este modo, se ha identificado la población afectada por las inundaciones por un método de conteo a partir de la identificación del número de personas que se localizan en cada unidad espacial que se ve sometido a un tipo de inundación. Dada la calidad del dato de partida (100 m de resolución en todo el país), se ha considerado suficiente para un estudio de estas características.

Daño directo sobre los activos

Existen en la literatura diversos ejemplos de funciones de vulnerabilidad espacial basados en activos (Hallegate et al., 2013 y Huizinga, 2007). En este proyecto se ha aplicado la metodología de Huizinga adoptada recientemente por el Proyecto *Reconciling Adaptation, Mitigation and Sustainable Development for Cities (RAMSES)* de la Unión Europea (UE).

Con la adopción de las suposiciones propuestas por el proyecto RAMSES, se han introducido las siguientes hipótesis inherentes al mismo. En primer lugar, se emplean curvas de daño específicas de activos residenciales homologadas a las usadas en todo el mundo usando la metodología Hazus¹⁸ elaborada por la Agencia Federal de Gestión de Riesgos de los Estados Unidos (FEMA). En segundo lugar, se combinan linealmente dichas curvas para áreas urbanas típicas donde el peso relativo de áreas verdes, vías de comunicación y activos residenciales se asumen equivalentes a los promedios caracterizados en la literatura (en general atienden más a la morfología urbana que a la economía del país). Estas curvas se aplican a las valoraciones obtenidas.

Según dicha aproximación, se define, en primer lugar, un conjunto de categorías de activos físicos para los cuales se determina una valoración por unidad espacial (ej. US\$/m² de vivienda) y una función de daño específica. Se trata pues de una caracterización de la vulnerabilidad de activos concretos. Una vez realizada esta fase, se procede a estimar una presencia relativa de dichos activos en distintos tejidos urbanos que se pueden identificar macroscópicamente y para los cuales se pueden calcular maestralmente las densidades de los activos básicos presentes en cada macro-tipología. Tenemos entonces una función de vulnerabilidad de centros urbanos, de periferias residenciales o de espacios industriales que combinan linealmente edificios, infraestructuras o espacios verdes según su presencia relativa. Las funciones sintéticas obtenidas para cada tejido urbano, resultan ser una combinación lineal de las funciones correspondientes a los activos físicos identificados.

El cálculo de la vulnerabilidad se realiza en dos etapas, en primer lugar, se fijan las funciones de daño correspondientes a las categorías de activos expuestos que se hayan identificado.

¹⁸ HAZUS: Sistema de información geográfica basado en amenazas naturales desarrollado y distribuido por FEMA <https://www.fema.gov/hazus/>.

En segundo lugar, se combinan dichos activos en las distintas tipologías de ocupación espacial que se detecten y se establece un valor para las mismas. De esta forma tenemos, en primer lugar, unas funciones de daño y, en segundo lugar, una valoración de los activos en riesgo.

Para la primera etapa se emplearon funciones de daño adaptadas de la metodología Hazus para las distintas categorías de activos definidas:

- Activos Residenciales.
- Activos Sector Servicios.
- Activos Industriales.
- Activo infraestructuras y bienes públicos.
- Activos Agrícolas.
- Para este último, se ha identificado el valor de la cosecha anual calculada en el epígrafe anterior de flujos de actividad agrícola como único activo susceptible de sufrir daño, al que se aplica la función de daño.

Los valores de los tipos de cobertura (activos) considerados están en la Tabla 19.

Tabla 19 – Tipos de cobertura para los distintos activos considerados

Tipos de activos
Residencial
Servicios
Industrial
Infraestructuras y Serv. Públicos
Agricultura

Fuente: Elaboración propia.

Una vez caracterizados los activos por su valor, las funciones de vulnerabilidad consideradas son las que se adjuntan en la Tabla 20. En ésta se presentan los coeficientes del porcentaje (%) de daño esperable ante un evento de inundación. A modo de ejemplo, los eventos de inundación que generen una elevación de la cota de agua de más de 5 metros, producen un 95% de daño en los activos residenciales.

Tabla 20 – Funciones de vulnerabilidad para los distintos activos

Valor expresado en porcentaje

Tipos de activos (Stock de Capital)	% de daño sobre valor expuesto							
	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
Residencial (%)	0,25	0,4	0,50	0,60	0,75	0,85	0,95	1,00
Servicios	0,15	0,30	0,45	0,55	0,75	0,90	1,00	1,00
Industrial	0,15	0,27	0,40	0,50	0,70	0,85	1,00	1,00
Infraestructura y Serv. público	0,25	0,42	0,55	0,65	0,80	0,90	1,00	1,00
Agricultura	0,30	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,00	1,00

Fuente: Proyecto Europeo Ramses, Huizinga, 2007.

El valor de los activos a que se aplican las funciones de vulnerabilidad se ha calibrado para que sean representativos de la exposición realizada.

Pérdidas de actividad económica

Se trata en este caso, de construir unas funciones de vulnerabilidad que caractericen el impacto del tiempo de parada de la actividad económica que se deriva de la amenaza existente. Para ello, no sólo se consideró el valor expuesto (US\$/año), sino la duración de la afección para cuantificar el daño sufrido (US\$).

Para el caso de la actividad agrícola y ganadera, las pérdidas de actividad económica derivadas de una inundación, como ya se ha indicado, se han valorado estimando una pérdida total de la producción en las zonas afectadas. En el caso de la actividad industrial y comercial, se ha considerado una duración estimada de la parada de actividades por inundación igual a tres veces la duración de cada evento, de forma que la pérdida total del valor añadido generado es igual a la producción que se hubiera obtenido durante ese tiempo asociado a la parada por inundación.

4.3.2 Vulnerabilidad frente a sequías

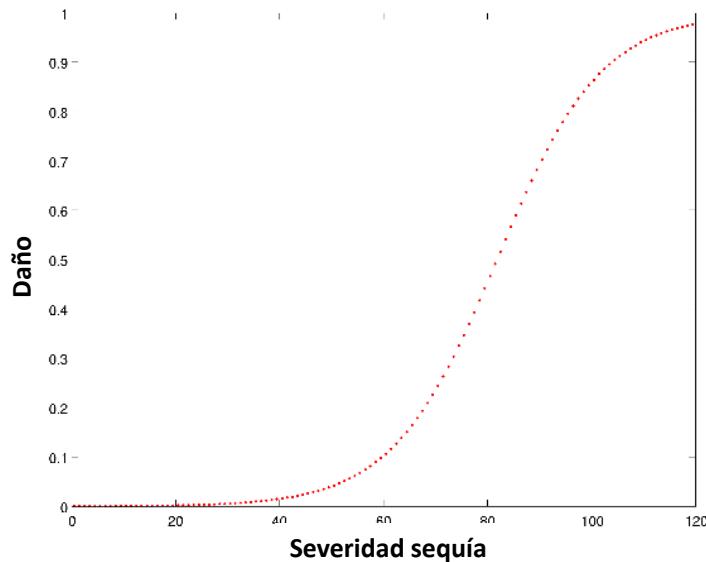
Para la estimación de las pérdidas ocasionadas por sequias, se ha abordado en primer lugar una integración temporal del fenómeno, reduciendo la serie temporal e influencia sobre los

cultivos temporales a un indicador único de severidad de la sequía. Posteriormente se evaluó para un cultivo promedio y con un criterio de experto, el impacto que la sequía generaría sobre los cultivos en ese punto.

Se trata, por tanto, de estimar el daño sufrido por la secuencia de eventos de sequía representada con una serie temporal de indicadores de severidad de la sequía según la metodología descrita anteriormente. En este proceso se han establecido varias hipótesis que se describen a continuación.

En primer lugar, se ha manejado una forma funcional logística considerada la más apropiada para reflejar el impacto de la sequía sobre una planta, con un primer tramo de daño limitado, un crecimiento exponencial al llegar a niveles críticos y un frenazo del crecimiento, al acercarse a la pérdida total. El elegir una curva logística implica, sin embargo, asumir dos tramos asintóticos que se han truncado en el proceso de cálculo. La Figura 53 presenta la función logística del daño asociado a la severidad de la sequía aplicada a la agricultura y la ganadería. El ajuste logístico dependiente de la severidad de la sequía se ha calibrado a tres eventos de sequía extrema.

Figura 53 - Función logística del daño asociado a la severidad de la sequía



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, para determinar el ajuste representativo, se han manejados tres valores convencionales que representan eventos característicos establecidos con criterio experto. Se ha estimado que las situaciones ordinarias con severidades inferiores no producen daños, y se ha estimado que, solo los eventos extremos generan daños apreciables, tomándose como referencia que el evento del 99% de probabilidad (índice de Severidad 20) produce un 10% de pérdida de daños, y el evento de 99.9% de probabilidad (índice de severidad 36) produce daños del 50%. Con estos parámetros, y con el criterio de truncado descrito anteriormente, la función de vulnerabilidad es la representada en la Figura 53.

Como mencionado, la vulnerabilidad de la ganadería frente a la sequía, se ha estimado en función de la producción ganadera (asociada al número de vacas) y al índice de sequías. Se ha calculado el valor de la facturación ganadera anual y se ha distribuido espacialmente según el número de reses. Finalmente, para las funciones de vulnerabilidad consideradas se ha realizado el mismo ajuste logístico dependiente de la severidad de la sequía.

4.3.3 Vulnerabilidad frente a incendios forestales

En relación con la vulnerabilidad de distintos tipos de elementos expuestos ante incendios forestales, cabe indicar que no se han encontrado referencias bibliográficas o normativas en las que se definan curvas de vulnerabilidad de la amenaza siendo estos indicados en documentación del FEMA, por ejemplo, donde se menciona que, en los estados más secos de los Estados Unidos que sufren incendios significativos en épocas estivales. Una forma de establecer la posible relación de vulnerabilidad es de asociar datos históricos de incendios a los daños cuantificados¹⁹.

En consecuencia, se ha optado por un enfoque más parecido al que se aplica habitualmente en otras amenazas como la de deslizamientos, en los que en función de la distancia a una zona con alta susceptibilidad de este fenómeno o incluso la ubicación dentro de la misma se puede atribuir hasta un daño total (100%) al elemento expuesto. Es decir, ante la generación

¹⁹ FEMA: Understanding your risks – Identifying hazards and estimating losses. FEMA 386-2, 2001.

FEMA: Multi Hazard Identification and Risk Assessment, a cornerstone of the National Mitigation Strategy, 1997.

de un incendio se entiende, que es probable que la zona forestal afectada quede destruida en su totalidad.

En la práctica, y ante las dudas que plantea la recurrencia de quema de las mismas superficies, en años sucesivos o periódicos dentro del periodo 2001 a 2010 del que se dispone de datos²⁰, se ha optado por los siguientes dos enfoques:

- Atribuir una destrucción total (vulnerabilidad del 100%) a cada huella anual de quema.
- Ante la recurrencia de incendios sobre las mismas superficies a lo largo del periodo de registro, asumir que la destrucción no es total, de tal forma que en sucesivas quemas se eliminará una proporción inferior de la masa forestal remanente o parcialmente recuperada.

La segunda opción parece defendible ante la falta de datos más detallados sobre el daño realmente causado en quemas recurrentes.

Los índices de vulnerabilidad estimada asociados a los incendios recurrentes se presentan a continuación en la Tabla 21 y en la figura siguiente. Cabe mencionar que, la elección de los mismos responde a un criterio de hipótesis ante la ausencia de los datos estadísticos de vulnerabilidad y contextos de incendio antes descritos.

Tabla 21 - Índices de vulnerabilidad estimados aplicados a superficies con quemas recurrentes

Expresado en porcentajes a lo largo de los años

Recurrencia de incendios a lo largo de 10 años de registros (veces)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Índice de vulnerabilidad aplicado según recurrencia de incendio (%)									
90	50	42,5	35	27,5	20	15	10	5	

Fuente: Elaboración propia.

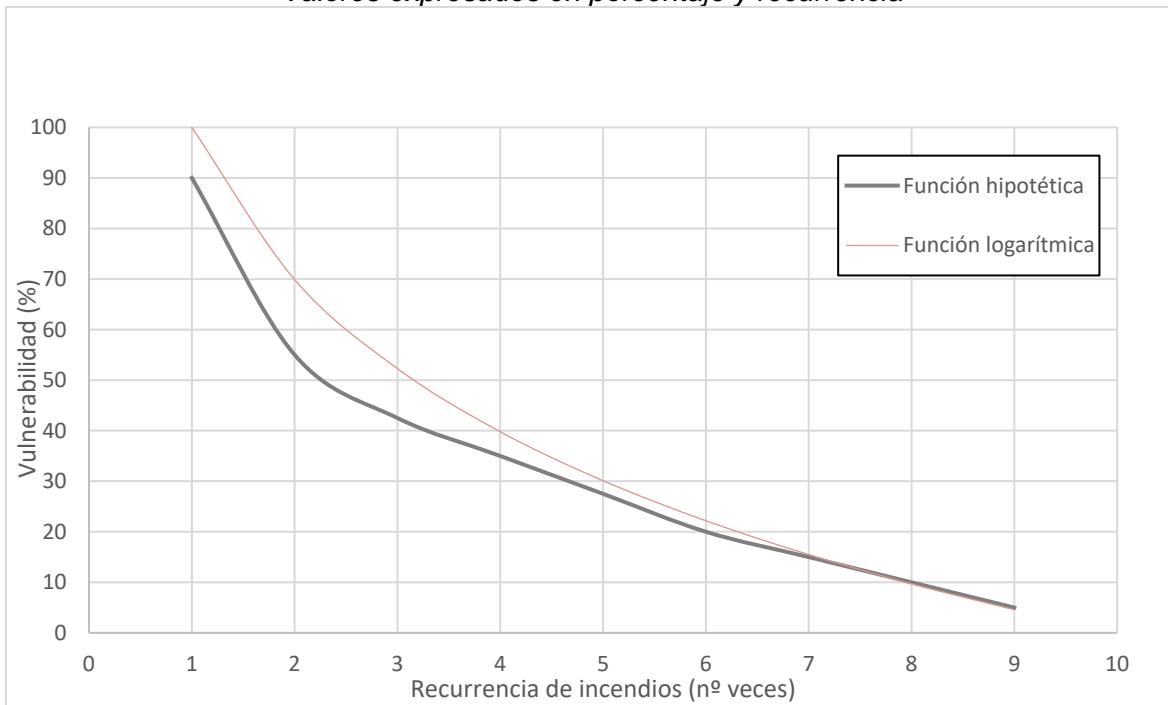
Los índices hipotéticos que componen la curva de vulnerabilidad propuesta, guardan entre sí, una relación aproximadamente logarítmica tal como se puede observar, a continuación, en la Figura 54 en la que se ha plasmado una curva logarítmica junto a la curva estimada. Los

²⁰ MAG: Plan nacional del manejo integrado del fuego 2012-2016, Paraguay, 2010.

índices de vulnerabilidad descienden aproximadamente con esta relación, a medida que aumenta la recurrencia de incendio en una misma zona.

Figura 54 - Función de vulnerabilidad estimada asociada a los incendios

Valores expresados en porcentaje y recurrencia



Fuente: Elaboración propia.

En relación con la vulnerabilidad humana, cabe mencionar que su valoración no es similar a la de otras amenazas, debido fundamentalmente a que la población expuesta tiene mayor capacidad de reacción, es decir, puede ponerse a salvo de manera relativamente eficaz ante un fuego descontrolado, o incluso puede intentar ser extinguido un incendio utilizando sus propios medios, evitando así, la destrucción de viviendas u otras edificaciones de interés.

Por esta razón, se ha optado por un análisis básico del número de afectados de distintos tipos recogidos en las fuentes disponibles, principalmente la plataforma DESINVENTAR.

5. Perfil de Riesgo

5.1 Análisis del riesgo

En el perfil de riesgo que se desarrolla en el siguiente apartado, se analiza el daño que se puede producir para cada una de las amenazas contempladas en este estudio, dada la exposición a la que se somete la población, los activos y flujos considerados a lo largo de todo el país. La vulnerabilidad que presenta es materializada a través de sus funciones de vulnerabilidad y permite cuantificar la afección.

En los siguientes apartados, se presenta la información gráfica de la distribución espacial de las estimaciones en un espacio continuo. La unidad especial básica empleada adopta, por tanto, el valor de la variable necesario para que su integral espacial en un recinto, arroje el valor total de la variable asociado al recinto vectorial definido. Por tanto, para que dicha integral sea dimensionalmente consistente, es necesario que sus unidades sean de densidad de la variable por hectárea. Para el cálculo del riesgo en cada zona, se ha generado la distribución espacial del mismo *adimensionalizando* su valor por la superficie considerada.

A continuación, se presenta una descripción detallada del riesgo que supone la amenaza por inundación, sequía e incendios.

5.2 Riesgo por inundación

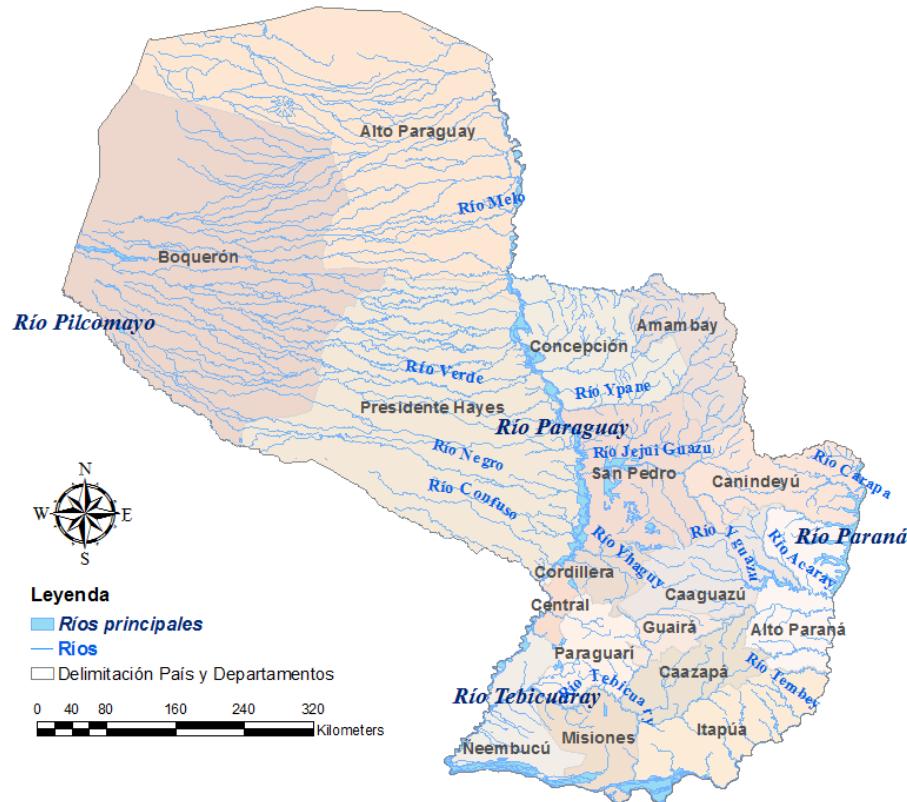
El riesgo que genera la amenaza por inundación se ha representado a partir del análisis de la población afectada del daño producido en el *stock* residencial, de capital industrial y comercial, y de capital gubernamental educativo y sanitario que conforman el daño directo. Con respecto a la afección a los sectores productivos, se ha cuantificado las perdidas por producción no realizada en los sectores agrícola, industrial, y comercial y servicios.

Por otro lado, se ha considerado relevante analizar el daño que generan los eventos de inundación en la destrucción de activos urbanos así como la interrupción de las actividades que se produce por la elevación del nivel de agua. Por último, se ha estimado el coste agregado por la destrucción de activos y el daño producido en el *stock* y flujo de actividades, agregados en lo que se ha denominado “daño total por inundación”.

En los siguientes apartados se reflejan los mapas de daños para cada una de las mencionadas afecciones para los períodos de retorno T20 y T100. El resto de mapas para los períodos de retorno de los años 10, 50, 200 y 500 se adjuntan en el Anexo E. Las imágenes representan el valor de los daños (US\$) por hectárea en cada uno de las unidades espaciales donde existe riesgo para cada uno de los factores considerados. La resolución utilizada en la superposición de los *grids* de amenaza y de riesgo viene condicionada por la capa que disponga de mejor resolución. Sin embargo, se ha utilizado un tamaño de unidad espacial de 10 x 10 y de 2,5 x 2,5 km a la hora de mostrar los mapas, para tener una mejor visualización de las zonas afectadas y con el propósito de obtener resultados espaciales con órdenes de magnitud significativos según la variable analizada (US\$, personas afectadas, etc.).

Para la caracterización del riesgo, se introducen los valores de los períodos de retorno de la amenaza en las funciones de vulnerabilidad, que teniendo en cuenta la exposición y el valor de la amenaza, generan un valor para el riesgo. Es importante destacar que, como los períodos de retorno se obtienen a partir de un análisis de valores extremos de una serie temporal (1950-2013) simulada (sin acudir a la generación sintética de escenarios), los valores del riesgo son representativos del riesgo actual. La Figura 55 permite identificar el riesgo generado por inundación en los principales ríos del país a nivel departamental.

Figura 55 – Identificación de ríos principales, red hidrográfica y departamentos del país



Fuente: Elaboración propia.

La información relativa a los activos residenciales, industriales, comerciales y al de servicios de cuentas tiene una resolución de tamaño de unidad espacial de 10 x 10 km. El resto de datos relativos a las infraestructuras existentes, así como los datos de población, disponen de una resolución con tamaño de unidad espacial de 2,5 x 2,5 km. No obstante, y como se ha comentado anteriormente, los mapas que se produjeron en este estudio, adjuntados a continuación, están presentados en escalas lo que permite una mejor visualización de las variables estudiadas.

5.2.1 Análisis de la población afectada

La población afectada por los procesos de inundación que sufre Paraguay, considerando el periodo de retorno T20 y T100, es de 240.300 y de 282.235 respectivamente. En la Figura 56

y Figura 57 se observan las localizaciones en las que se encuentra el mayor número de personas afectadas. La mayor incidencia sobre la población se ubica en torno a los principales ríos del país por la subida del nivel del agua y las previsibles inundaciones ocurridas en las riberas de los mismos. De forma generalizada, se aprecia mayor impacto en la zona sur del territorio.

Las ubicaciones concretas dónde se refleja la mayor afección son Asunción, Ciudad del Este, el pantanal paraguayo, el río Pilcomayo y al sur del país en la zona de Encarnación y Ayolas.

Figura 56 - Número de personas afectadas
Expresado en la unidad de tiempo T20

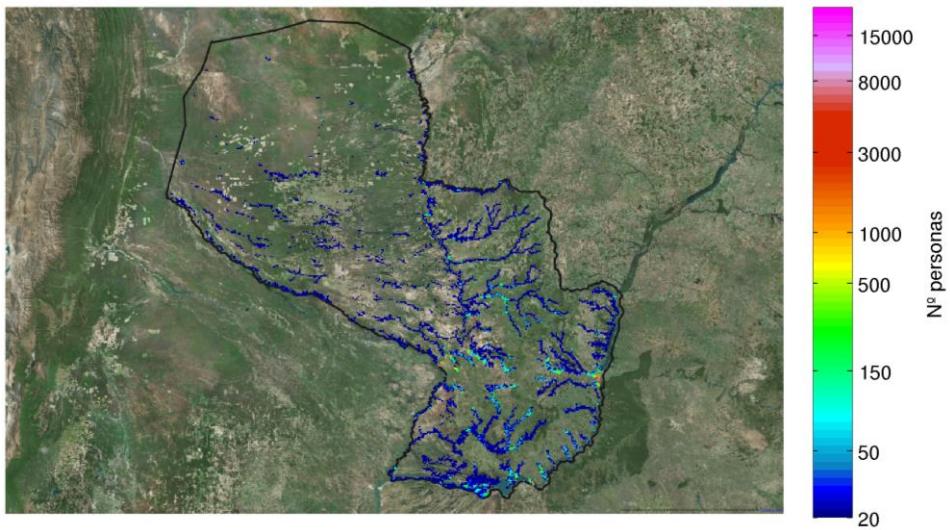
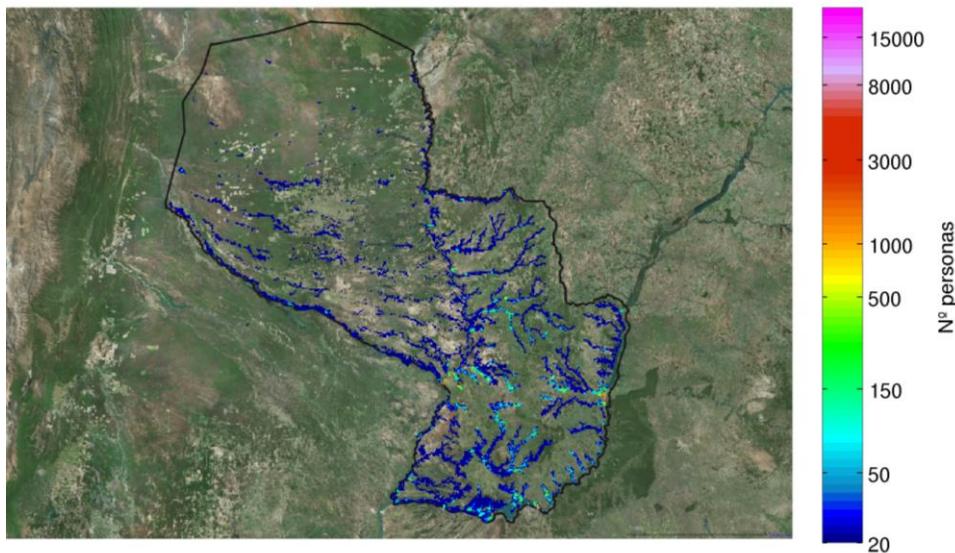


Figura 57 - Número de personas afectadas
Expresado en la unidad de tiempo T100



Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 22 muestra los resultados de la distribución departamental de la afección a personas.

Tabla 22 - Distribución de personas afectadas por inundación por Departamento

Departamento	Población Expuesta	Número de afectados						Valor medio anual	% sobre expuesto
		T-10	T-20	T-50	T-100	T-200	T-500		
Asunción	512.919	36.025	37.602	37.642	39.965	39.981	39.962	3.690	0,72%
Concepción	189.381	3.247	4.031	4.682	5.354	5.477	5.573	377	0,20%
San Pedro	362.912	9.983	12.822	16.016	17.394	18.571	18.901	1.196	0,33%
Cordillera	288.999	8.328	11.201	12.662	14.999	17.304	17.670	1.013	0,35%
Guairá	199.021	3.733	4.563	5.332	6.037	6.520	6.612	432	0,22%
Caaguazú	485.277	11.389	12.428	13.002	13.703	14.189	14.335	1.202	0,25%
Caazapá	151.531	4.942	6.355	7.571	8.047	8.623	8.716	583	0,38%
Itapúa	556.300	24.286	28.401	32.261	36.152	37.719	37.934	2.718	0,49%
Misiones	120.634	9.651	11.894	13.727	14.827	15.338	15.459	1.105	0,92%
Paraguarí	239.675	4.584	5.736	6.592	7.185	7.573	7.615	530	0,22%
Alto Paraná	817.787	70.206	73.457	76.170	81.570	81.835	81.827	7.260	0,89%
Central	2.374.168	16.416	17.178	17.399	18.090	18.586	18.974	1.687	0,07%
Ñeembucú	84.407	1.833	3.051	6.842	8.050	8.514	8.604	322	0,38%
Amambay	125.874	1.461	1.663	1.782	1.862	1.882	1.899	158	0,13%
Canindeyú	203.608	3.732	4.244	4.833	5.277	5.354	5.360	410	0,20%
Presidente Hayes	110.209	5.412	6.478	7.051	8.716	9.517	9.696	616	0,56%
Boquerón	64.458	1.126	1.500	1.642	2.210	2.536	2.618	138	0,21%
Alto Paraguay	10.961	791	841	959	999	1.027	1.035	84	0,77%
Total País	6.898.121	217.145	243.443	266.165	290.438	300.545	302.790	23.519	0,34%

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que existe una relevancia entre la concentración de la población y cercanía a los grandes ríos del país.

5.2.2 Daños al stock residencial

La valoración de las viviendas afectadas es representada como el daño generado en el stock residencial, lo que supone un daño de US\$ 680 M para el periodo de retorno de T20 y de US\$ 755 M en el periodo de retorno T100. La distribución espacial de la localización donde se produce mayor pérdida de las viviendas se observa en la Figura 58 y Figura 59 para ambos periodos de retorno. El resto de mapas correspondientes a los periodos de retorno T10, 50, 200 y 500 se adjuntan en el Anexo E.

De forma generalizada, se localizan daños en las viviendas de varias zonas distribuidas por todo el país a excepción de la zona norte. Los núcleos urbanos dónde se produce la mayor afección al *stock* residencial se encuentran en Asunción, Ciudad del Este y en el sur del departamento de Itapúa en Encarnación. A su vez, se aprecian daños en los núcleos de Bella Vista y Carmelo Peralta en la zona nororiental del país. En el periodo de retorno del año 100 se observan daños en la ciudad de Pilar (Figura 59).

Figura 58 - Daños causados al stock residencial
Expresado en US\$/ha en la unidad de tiempo T20

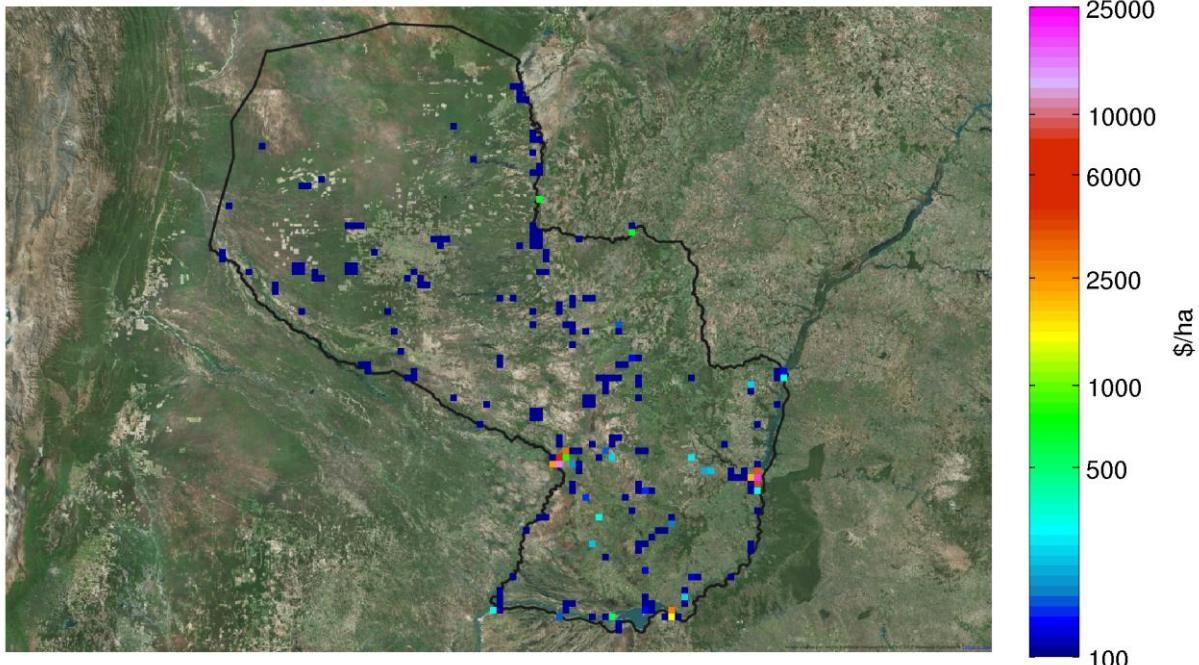
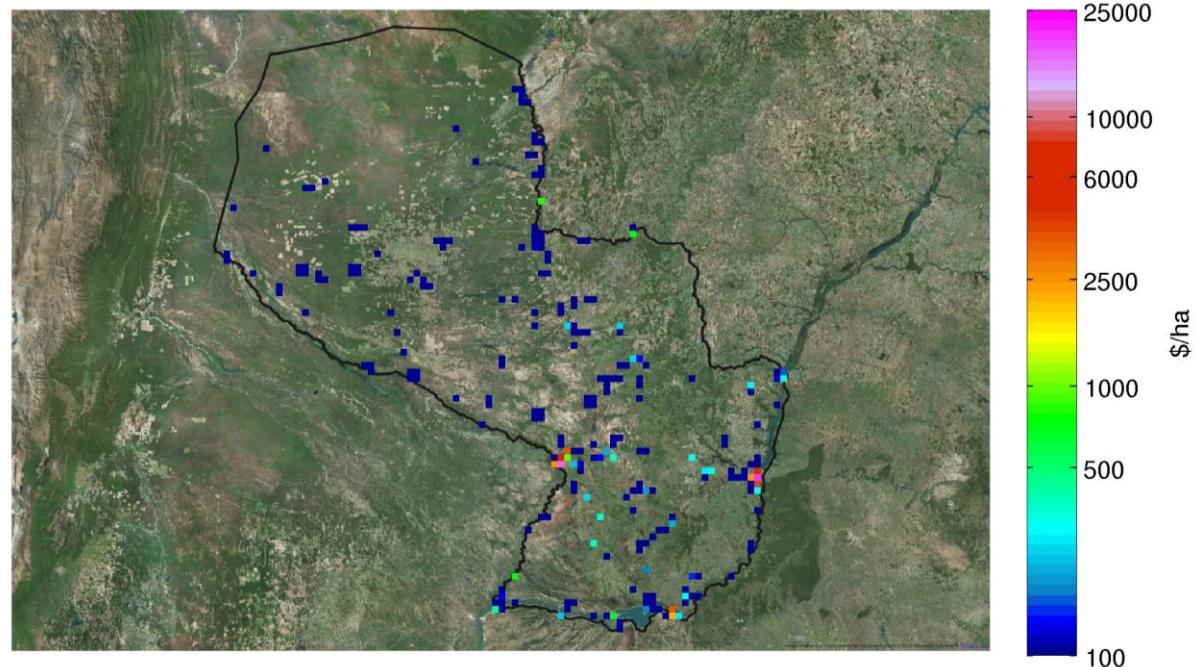


Figura 59 - Daños causados al stock residencial
Expresado en US\$/ha en la unidad de tiempo T100



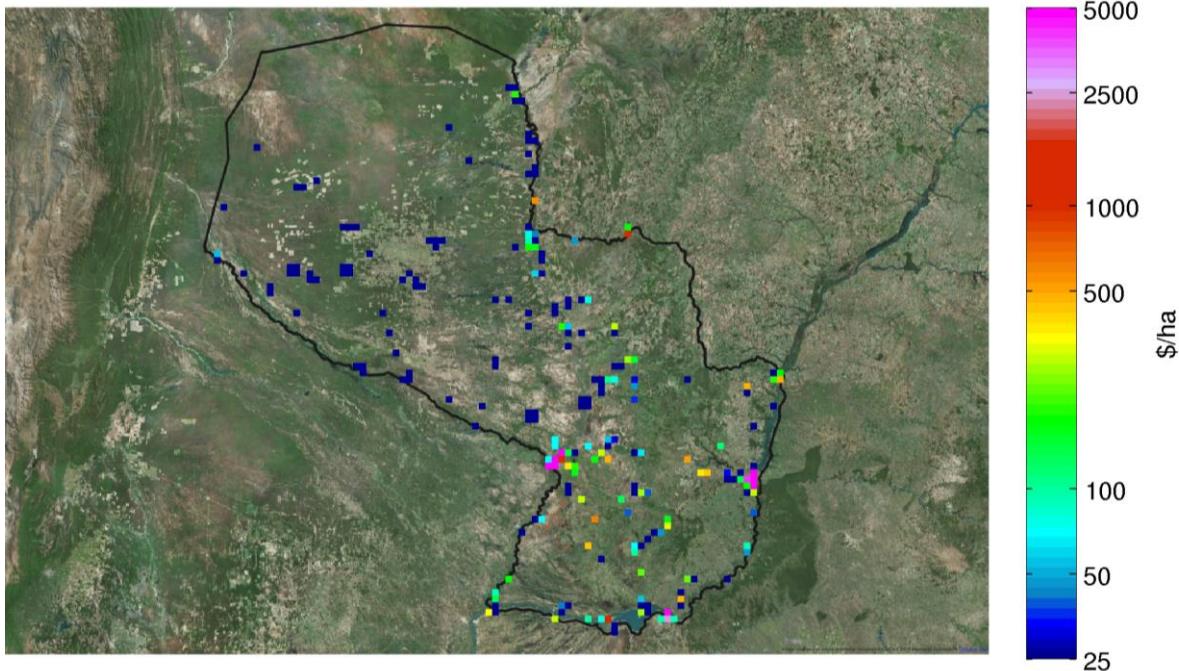
Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Daños al stock de capital de sector industrial y servicios

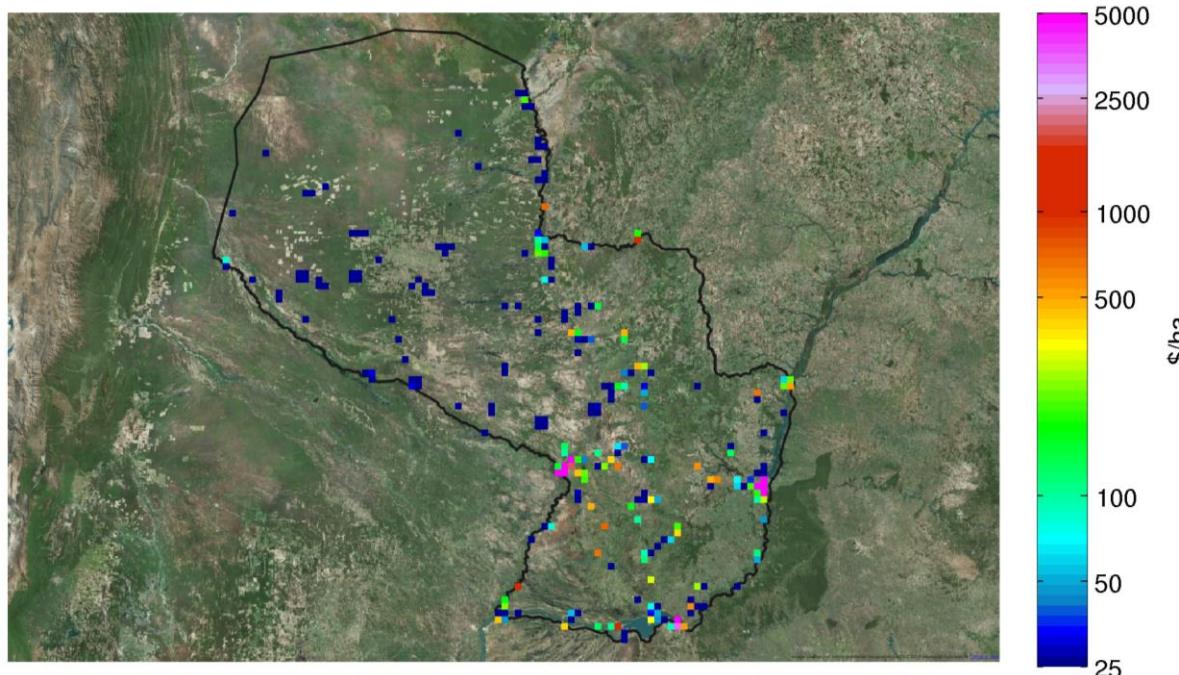
Los daños causados a los sectores productivos comercial e industrial se presentan en la Figura 60 y Figura 61 para los periodos de retorno T20 y T100. Los mapas relativos a los periodos de retorno T10, 50, 200 y 500, se adjuntan en el Anexo E. Según se aprecia en las siguientes imágenes, los daños en el *stock* del capital industrial y comercial se distribuyen de forma generalizada por varias regiones a excepción de la zona norte, y de forma más concentrada en su parte más meridional y suroeste del país.

Los daños en el periodo de retorno de 20 años se cuantifican en US\$ 1.290 M y en US\$ 1.435 M en un periodo de 100 años. Los núcleos industriales y comerciales más afectados se localizan en Asunción, Ciudad del Este, Encarnación y la zona centro-sur del país. A su vez, se aprecian altos índices de daño en Bella Vista, Ayolas y Pilar.

Figura 60 - Daños causados al stock industrial y servicios
Expresado en US\$/ha en la unidad de tiempo T20



Fuente: Elaboración propia.
Figura 61 - Daños causados al stock industrial y servicios
Expresados en US\$/ha en la unidad de tiempo T100



Fuente: Elaboración propia.

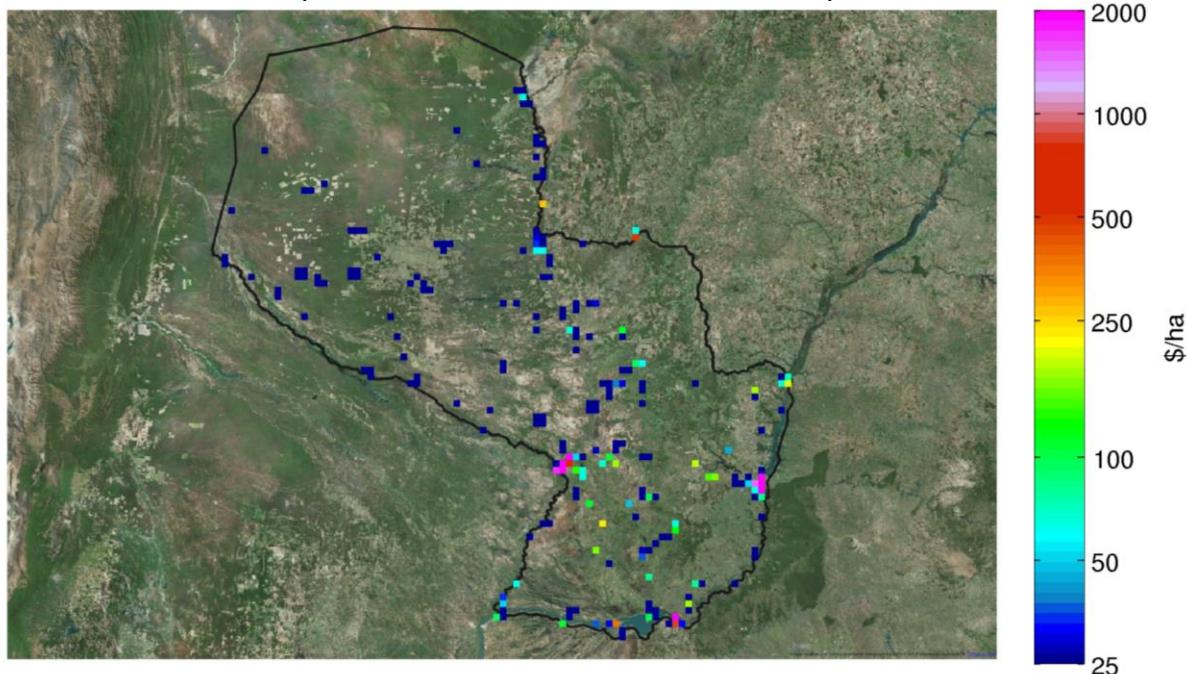
5.2.4 Daños al stock de capital público

El daño causado en el *stock* de capital público se representa en la Figura 62 y Figura 63 para los períodos de retorno T20 y T100 respectivamente. El resto de imágenes correspondientes a los períodos de retorno considerados se adjuntan en el Anexo E.

El daño al stock de estas infraestructuras asciende a US\$ 465 M en el periodo de retorno de 20 años y a un total de US\$ 520 M al de 100 años. La afección se reparte por varios núcleos del país (al igual que el *stock* anterior de capital industrial y comercial) de una forma más concentrada en el corredor meridional entre Asunción y Ciudad del Este, así como en el sur del país.

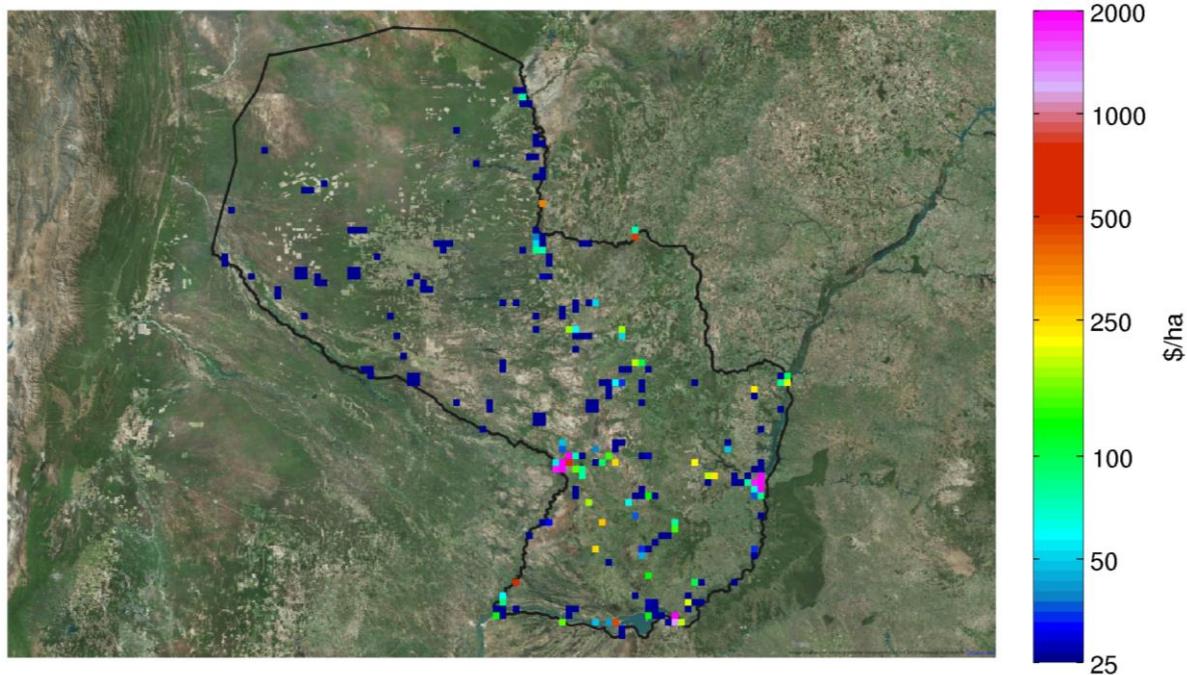
Los núcleos más afectados son Asunción, Ciudad del Este y Encarnación, lugares donde se concentra el mayor número de instalaciones construidas de titularidad pública, así como centros educativos tales como colegios, bibliotecas y universidades. En menor medida, se producen daños en Bella Vista y Ayolas.

Figura 62 - Daños causados al capital público
Expresado en US\$/ha en la unidad de tiempo T20



Fuente: Elaboración propia.

Figura 63 - Daños causados al capital público
Expresado en US\$/ha en la unidad de tiempo T100



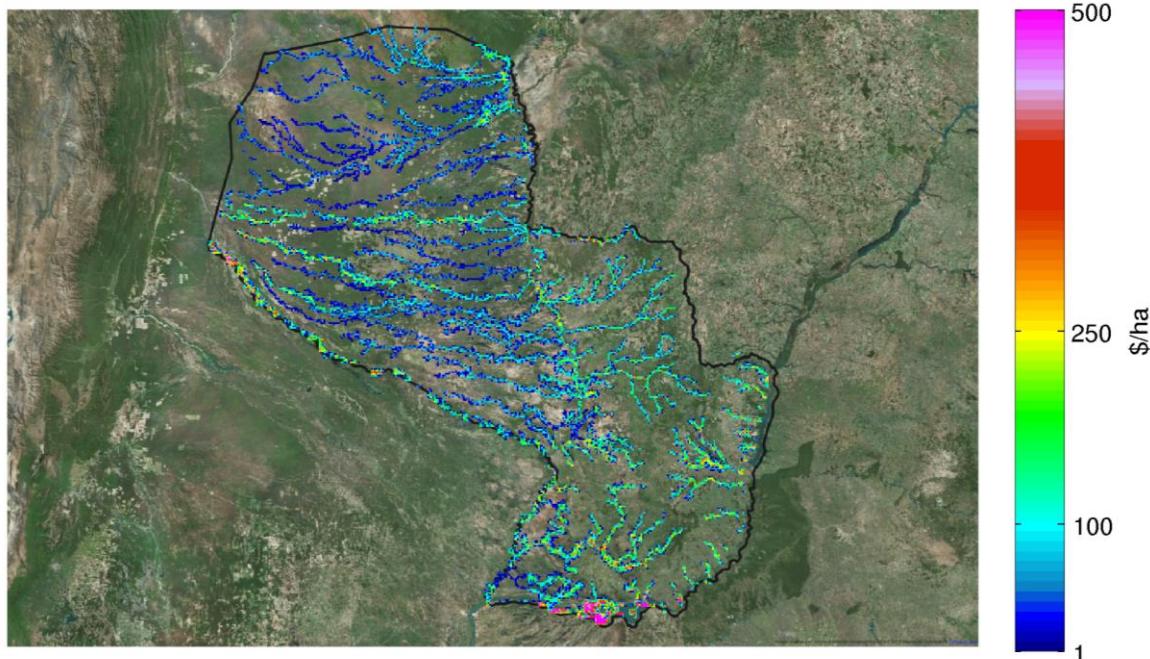
Fuente: Elaboración propia.

5.2.5 Pérdidas de producción agrícola

Los daños causados en la producción agrícola para los períodos de retorno de 20 y 100 años, se adjuntan en la Figura 64 y Figura 65. El resto de períodos de estudio analizados, se han incluido en el Anexo E. Según se observa en la siguiente figura los daños producidos en el sector de la agricultura se distribuyen a lo largo de todo el país, y de una forma más concentrada, en la zona sur occidental.

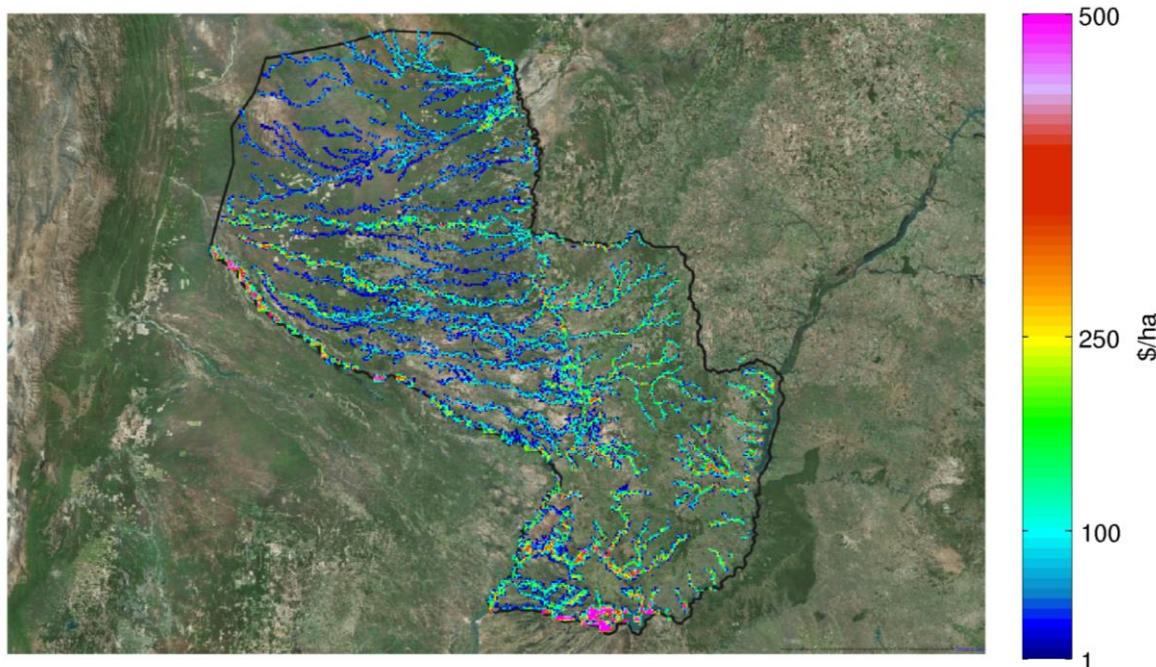
La pérdida de producción agrícola en el periodo de retorno de 20 años asciende a US\$ 555 M y a US\$ 680 M en 100 años. En la zona sur del país se concentra el mayor daño, en concreto, al sur del departamento de Itapúa, Misiones, Ayolas y Ñeembucú debido a las inundaciones producidas por las crecidas y aumento de nivel del río Paraná. Asimismo, se observan daños asociados a la inundación de las llanuras y riberas generada por la subida del nivel en el río Tebicuary y Pilcomayo. En las inundaciones asociadas a este último río, los mayores impactos se localizan al sur-oeste del departamento de Boquerón.

Figura 64 - Daños causados por pérdida en la producción agrícola
Expresado en US\$/ha en la unidad de tiempo T20



Fuente: Elaboración propia.

Figura 65 - Daños causados por pérdida en la producción agrícola
Expresado en US\$/ha en la unidad de tiempo T100



Fuente: Elaboración propia.

5.2.6 Pérdida de producción industrial y servicios

La pérdida agregada de producción industrial, comercial y servicios para los períodos de retorno de 20 y 100 años se representan en la Figura 66 y Figura 67. El resto de imágenes relativas a la pérdida de producción asociada a los períodos de retorno T10, 50, 200 y 500 se adjuntan en el Anexo E.

El daño asociado a los períodos de retorno 20 y 100 ascienden a US\$ 280 M y a US\$ 390 M respectivamente. Las zonas con mayor pérdida de producción por sectores son Asunción, Ciudad del Este y los núcleos ubicados en el corredor que une dichas ciudades. Asimismo, en Encarnación se producen valores altos de pérdidas de producción, y en menor medida, en núcleos de la zona sur occidental como Alberdi.

Figura 66 - Valor añadido bruto por la pérdida de producción industrial y servicios
Expresado en US\$/ha en la unidad de tiempo T20

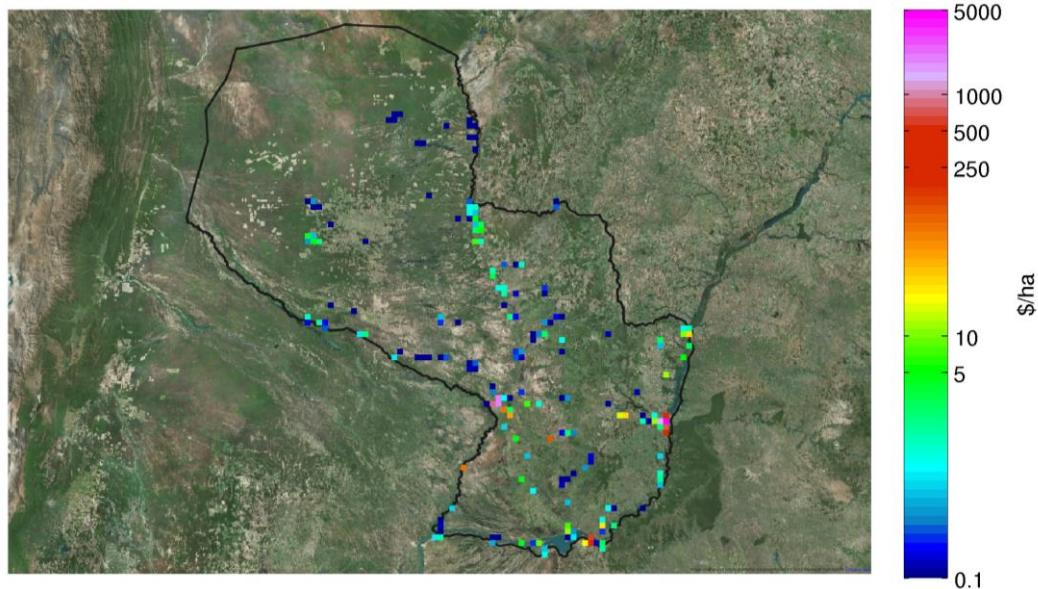
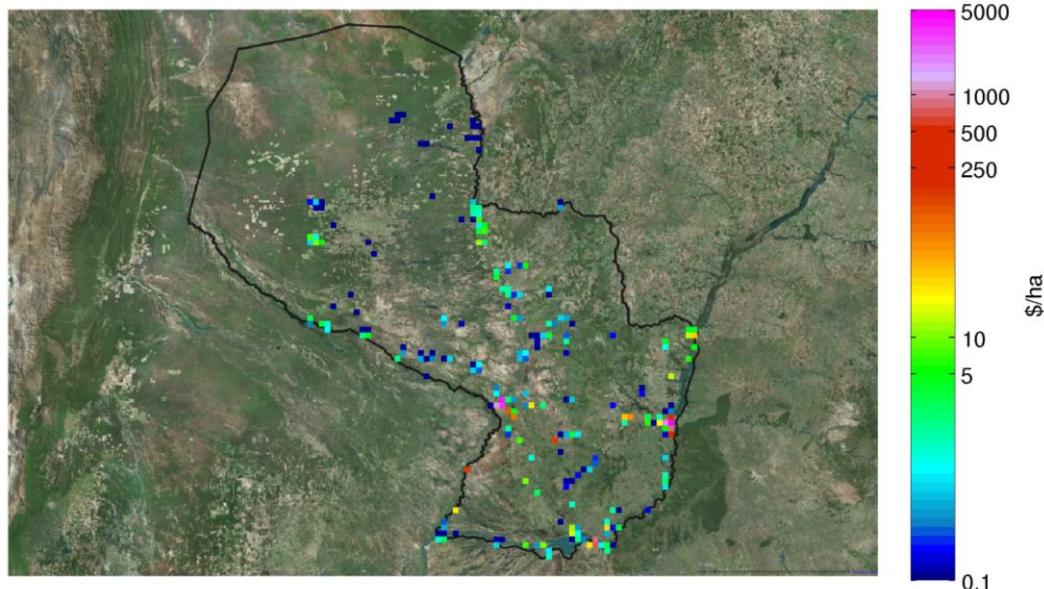


Figura 67 - Valor añadido bruto por la pérdida de producción industrial y servicios
Expresado en US\$/ha en la unidad de tiempo T100



Fuente: Elaboración propia.

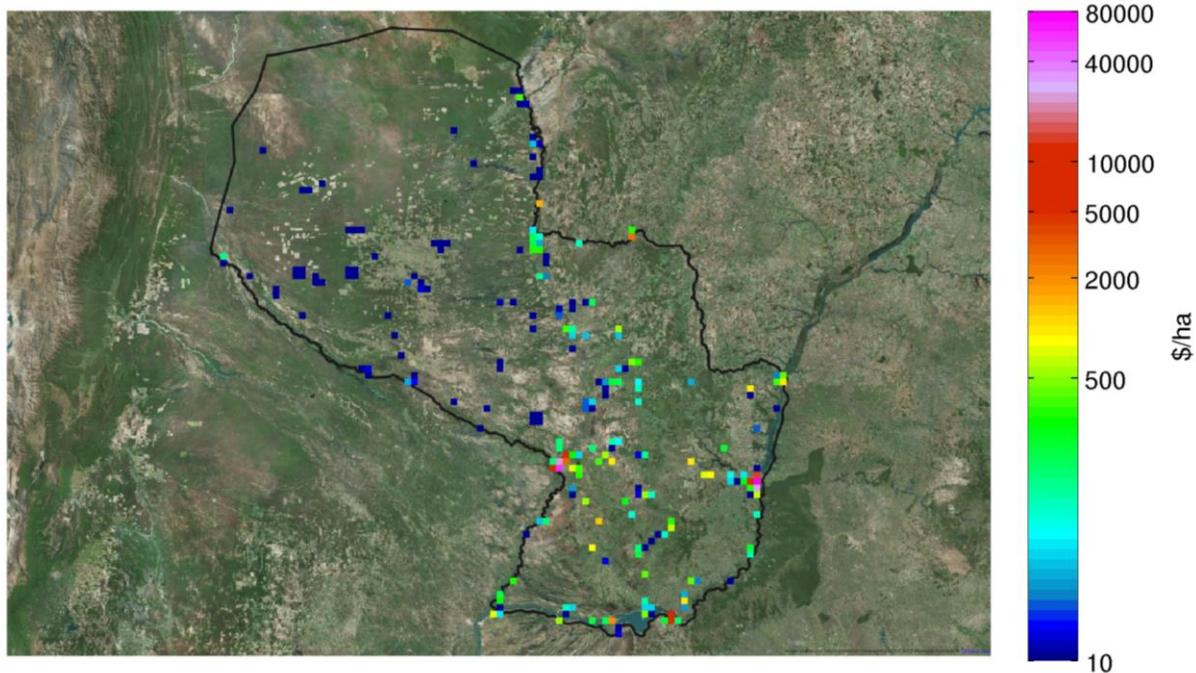
5.2.7 Daños agregados por destrucción de activos urbanos

En este apartado se cuantifican los daños por la destrucción de activos urbanos como la agrupación de los daños producidos al stock de capital residencial, industrial/comercial, y al

de capital público. La Figura 68 y la Figura 69 reflejan los daños en el periodo de retorno de 20 y 100 años.

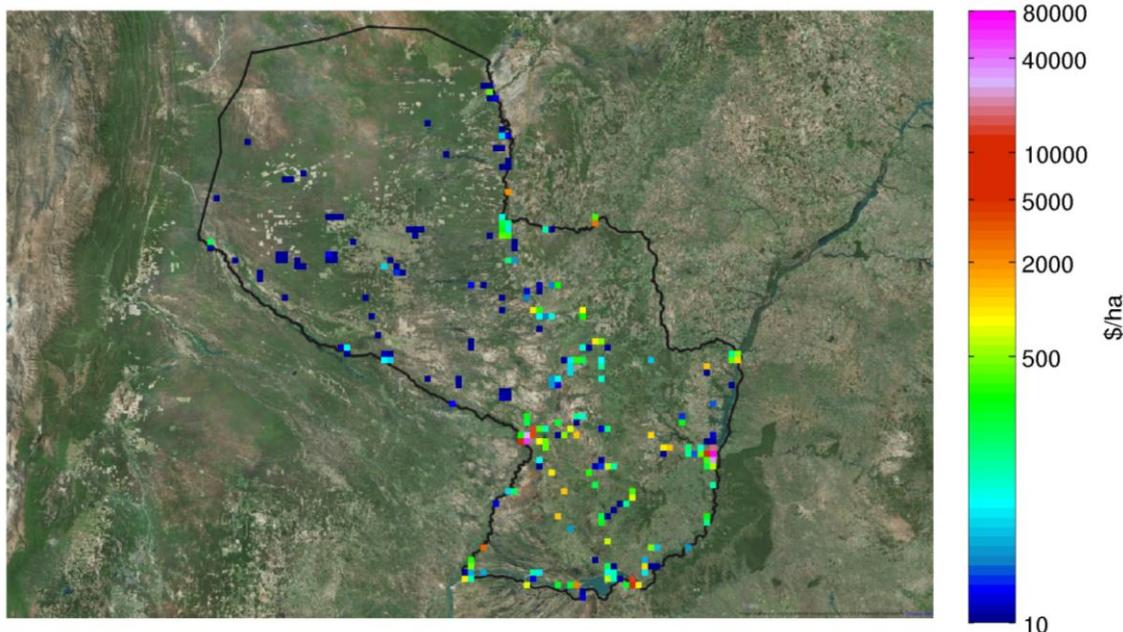
Los daños agregados por la destrucción de activos en el periodo de retorno 20 y 100 ascienden a US\$ 2.435 M y a US\$ 2.710 M respectivamente. Las ciudades con mayor daño por la destrucción de sus activos son Asunción, Ciudad del Este, y los núcleos ubicados en el corredor que une ambas ciudades y en Encarnación. A su vez, se aprecian daños, aunque en menor medida que en las principales ciudades, en Bella Vista, Carmelo Peralta, y Pilar.

Figura 68 - Daños agregados por destrucción de activos fijos
Expresado en US\$/ha en la unidad de tiempo T20



Fuente: Elaboración propia.

Figura 69 - Daños agregados por destrucción de activos fijos
Expresado en US\$/ha en la unidad de tiempo T100



Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la Tabla 23 se presenta la distribución espacial de los daños totales agregados a nivel departamental.

Tabla 23 - Distribución del daño total por departamento

Departamento	Stock Capital Expuesto	Daños por inundación US\$ M (2014)						Daño Medio Anual	% sobre expuesto
		T-10	T-20	T-50	T-100	T-200	T-500		
Asunción	8.198,98	538,77	613,27	618,51	644,47	668,82	695,19	58,12	0,71%
Concepción	2.581,39	8,32	13,45	20,53	23,50	25,39	26,89	1,29	0,05%
San Pedro	3.940,67	42,78	60,55	79,12	88,47	94,22	99,08	5,71	0,14%
Cordillera	3.688,61	28,24	41,40	47,06	56,37	63,76	69,15	3,76	0,10%
Guairá	2.710,39	20,81	26,20	30,31	34,32	37,22	39,57	2,50	0,09%
Caaguazú	6.993,07	54,01	62,74	69,65	73,12	75,81	78,70	6,04	0,09%
Caazapá	1.741,85	20,53	28,79	33,51	37,30	39,75	41,90	2,63	0,15%
Itapúa	7.120,56	162,12	189,60	214,60	235,61	249,50	261,45	18,42	0,26%
Misiones	1.462,86	47,09	59,71	69,69	78,51	84,13	88,74	5,69	0,39%
Paraguarí	3.379,27	21,80	32,23	37,22	41,30	44,26	46,75	2,88	0,09%
Alto Paraná	11.031,61	1.047,16	1.051,65	1.063,18	1.063,02	1.076,20	1.102,91	105,03	0,95%
Central	33.240,04	78,92	104,71	112,72	123,95	133,07	140,74	9,54	0,03%
Ñeembucú	1.055,43	13,58	25,38	51,28	62,56	67,79	71,92	2,66	0,25%
Amambay	1.398,43	5,85	7,85	8,64	8,77	8,90	9,13	0,71	0,05%
Canindeyú	1.736,25	29,33	32,87	36,12	38,27	39,85	41,13	3,21	0,18%
Presidente Hayes	950,47	45,10	55,77	59,06	65,01	69,94	74,15	5,21	0,55%
Boquerón	688,77	2,09	2,72	2,93	3,61	4,13	4,50	0,26	0,04%
Alto Paraguay	196,80	23,50	26,11	30,85	31,85	32,25	33,09	2,59	1,32%
Total País	9.115,45	2.190,00	2.435,00	2.585,00	2.710,00	2.815,00	2.925,00	236,24	0,26%

Fuente: Elaboración propia.

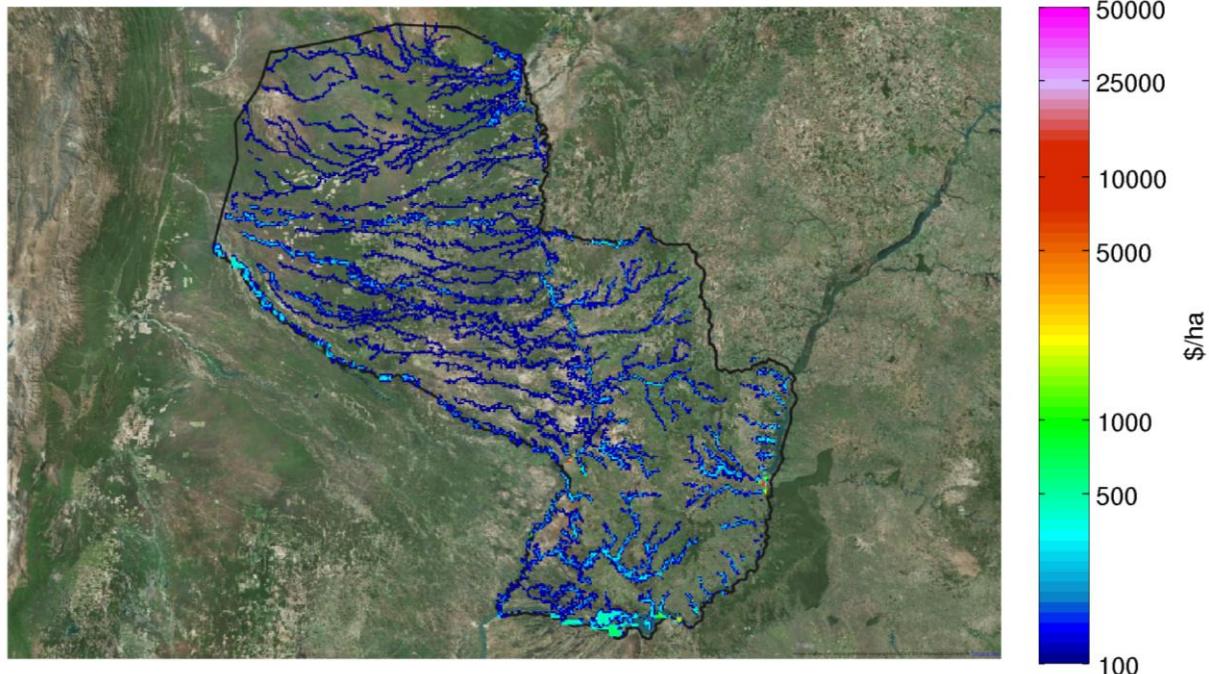
5.2.8 Pérdidas por interrupción de actividades

Los daños agregados que se presentan en este apartado reflejan la pérdida por el cese de la actividad debido a las inundaciones que afectan a la producción industrial y de servicios. En Figura 70 y Figura 71 se muestran los daños en el periodo de retorno de 20 y 100 años. Según se describe en el apartado relativo a las pérdidas de actividad económica, los daños agregados por la interrupción de actividades en el país ascienden a US\$ 835 M y US\$ 1.070 M en los respectivos periodos de retorno mencionados. Las localizaciones con mayores daños

se encuentran en el área inundable del río Paraná al sur de Ñeembucú, Misiones e Itapúa. Así mismo, se observan valores altos de los daños por la interrupción de la actividad en las márgenes inundables del río Pilcomayo al sur del departamento de Boquerón.

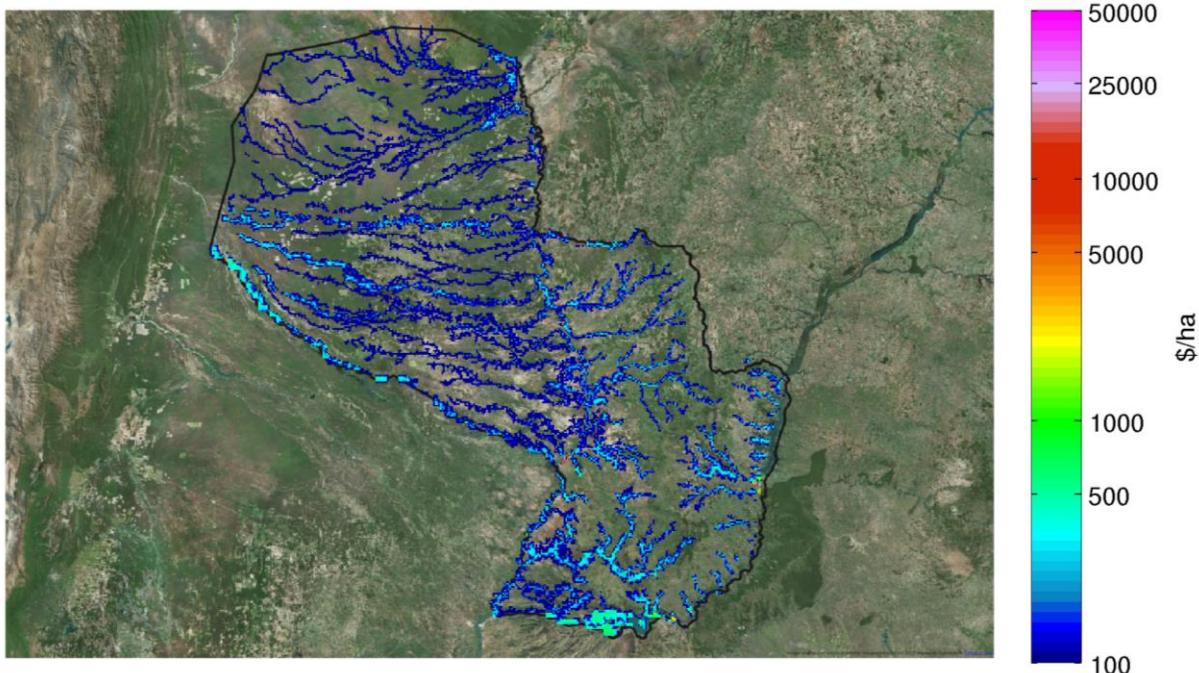
Se observa que los máximos valores del daño producido en los sectores productivos de industria y servicios, que componen el concepto general de “actividades”, se concentran en las ciudades de Asunción y Ciudad del Este.

Figura 70 - Daños agregados por interrupción de actividades
Expresado en US\$/ha en la unidad de tiempo T20



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 71 - Pérdidas por interrupción de actividades
Expresado en US\$/ha en la unidad de tiempo T100**



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, presentamos en la Tabla 24 la distribución departamental de las pérdidas ocasionadas por las inundaciones a través de la interrupción de actividades.

Tabla 24 - Distribución de las pérdidas por inundación por parada de actividades por Departamento

Departamento	Flujo VAB Expuesto	Pérdidas por inundación US\$ M (2014)						Perdida Media Anual	% sobre expuesto
		T-10	T-20	T-50	T-100	T-200	T-500		
Asunción	11.007,83	4,13	7,73	10,26	11,45	12,80	14,64	0,67	0,01%
Concepción	422,12	23,91	28,20	32,33	34,18	36,56	40,68	2,72	0,65%
San Pedro	430,57	29,03	36,96	46,16	52,12	57,56	64,89	3,59	0,83%
Cordillera	209,41	13,02	16,87	19,00	22,53	25,96	29,89	1,60	0,76%
Guairá	225,09	5,55	6,74	7,49	8,65	9,82	11,23	0,65	0,29%
Caaguazú	687,72	22,04	24,17	25,89	27,17	29,15	32,44	2,37	0,34%
Caazapá	185,17	15,23	20,39	23,96	26,33	28,72	32,23	1,90	1,03%
Itapúa	1.097,54	49,24	56,25	64,09	69,54	75,17	83,84	5,52	0,50%
Misiones	206,26	60,25	73,45	84,41	93,37	102,03	114,53	7,06	3,42%

Departamento	Flujo VAB Expuesto	Pérdidas por inundación US\$ M (2014)						Perdida Media Anual	% sobre expuesto
		T-10	T-20	T-50	T-100	T-200	T-500		
Paraguarí	201,64	14,51	18,08	21,85	25,74	29,08	33,18	1,77	0,88%
Alto Paraná	3.160,35	96,99	113,62	122,36	126,24	134,09	148,78	10,79	0,34%
Central	5.085,38	22,49	40,04	53,87	64,36	74,42	86,53	3,62	0,07%
Ñeembucú	275,28	26,99	35,92	47,20	57,47	65,46	74,82	3,55	1,29%
Amambay	469,75	12,42	14,61	15,84	16,31	17,15	18,88	1,39	0,29%
Canindeyú	494,20	19,04	20,39	22,07	23,35	24,93	27,60	2,02	0,41%
Presidente Hayes	1.253,62	92,55	117,72	137,97	158,64	178,09	202,64	11,29	0,90%
Boquerón	1.437,62	85,99	106,74	113,96	137,65	159,22	183,28	10,17	0,71%
Alto Paraguay	1.013,93	91,62	97,13	106,26	114,89	124,80	139,94	9,75	0,96%
Total País	27.863,47	685,00	835,00	955,00	1.070,00	1.185,00	1.340,00	80,44	0,29%

Fuente: Elaboración propia.

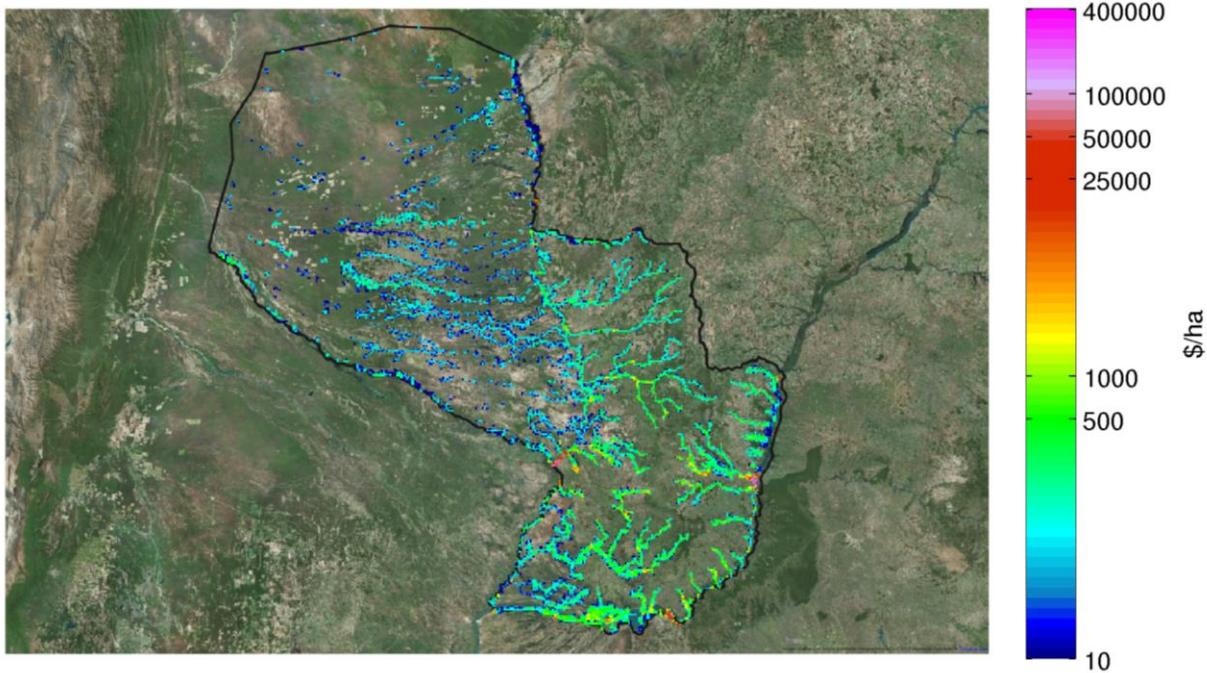
5.2.9 Daño total por inundación

Por último, en este apartado se resume el daño total generado por el riesgo de inundación para los períodos de retorno de 20 y 100 años, en las Figura 72 y Figura 73 respectivamente. El resto de períodos de retorno analizados (T10, 50, 200, y 500), se adjuntan en el Anexo E. El daño total causado por las inundaciones es calculado como la agregación del daño generado por la destrucción de activos y del daño agregado por la interrupción de actividades.

El daño total en todo el país asciende a US\$ 3.270 M en el periodo de retorno de 20 años y a US\$ 3.780 M en el de 100 años.

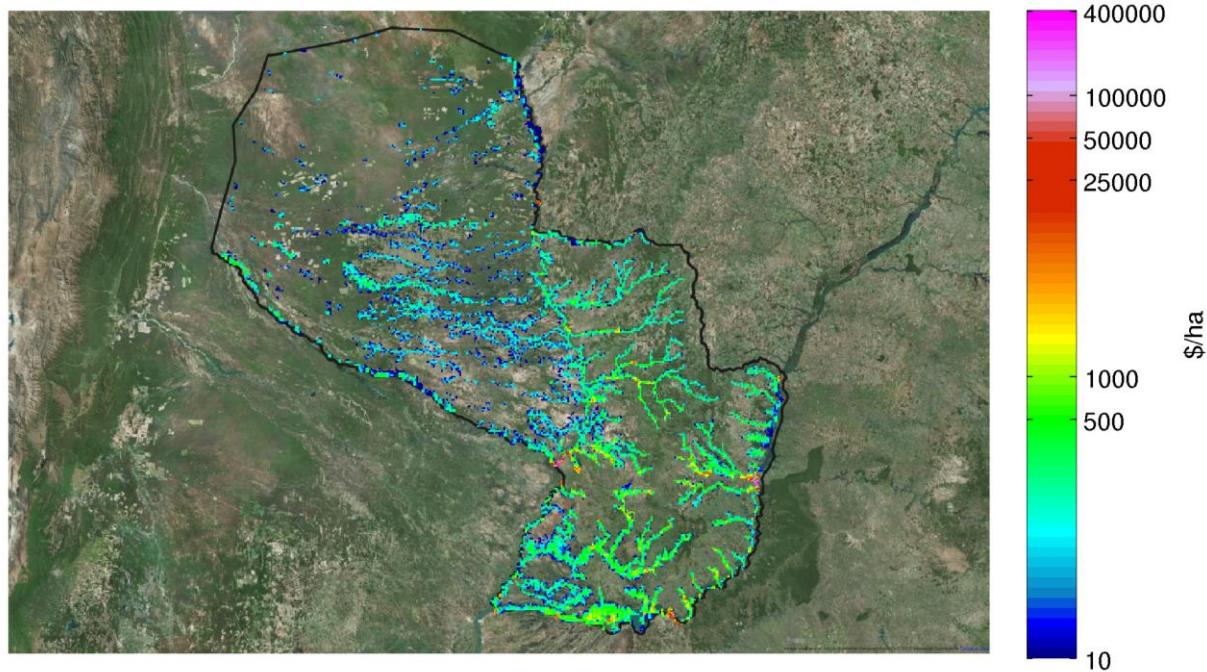
Como se ha detallado en los apartados anteriores, las regiones más afectadas son la zona centro y sur del país. De forma generalizada, se producen daños en las márgenes de los principales ríos por elevaciones de su caudal medio en las zonas de anegación y llanuras de inundación como puede ser observado en la Figura 72. Asunción, Ciudad del Este y Encarnación destacan como las ciudades con mayores daños. Con respecto a las inundaciones del río Paraná, se generan elevados daños en la zona sur de los departamentos de Ñeembucú y Misiones en núcleos como Ayolas y Pilar. Existen otros núcleos como Bella Vista y Carmelo Peralta en los que se observan daños significativos.

Figura 72 - Distribución espacial del daño total por inundación
Expresado en US\$/ha en la unidad de tiempo T20



Fuente: Elaboración propia.

Figura 73 - Distribución espacial del daño total por inundación
Expresado en US\$/ha en la unidad de tiempo T100



Fuente: Elaboración propia.

A modo de conclusión, se presenta en la Tabla 25, un resumen de los daños causados por los fenómenos de inundación en la que se recogen los daños directos, indirectos y el daño total como agregado de ambos daños.

Tabla 25 - Cuantificación de los daños por inundación
Expresado en US\$M

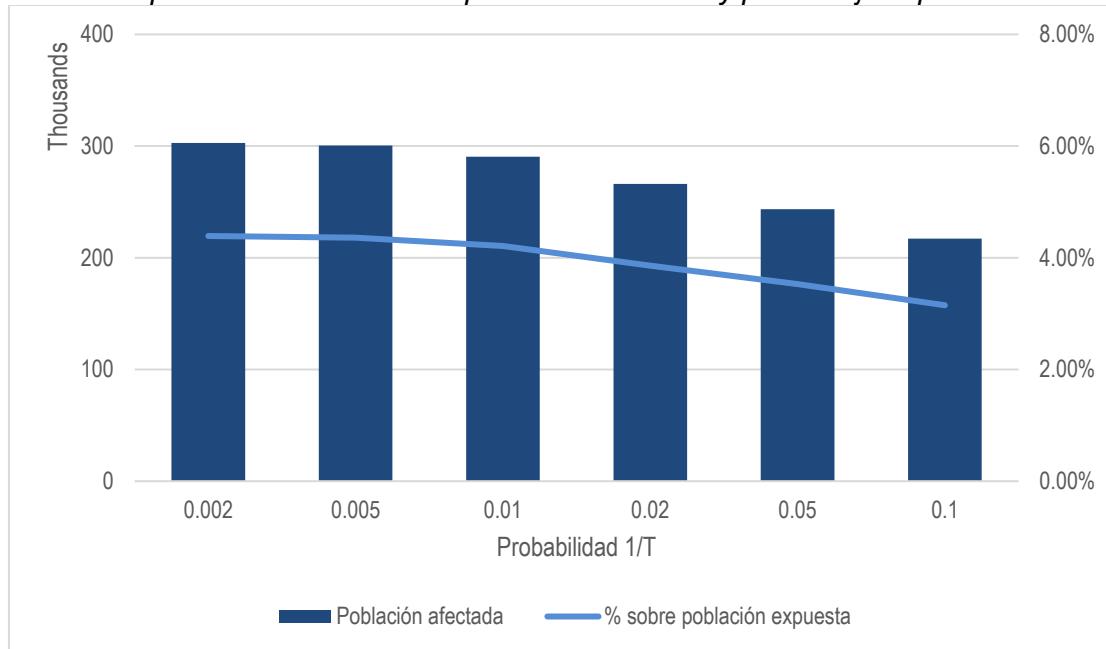
Daños causados por inundación (Millones US\$)						
Valor Expuesto Stock	US\$ Millones				92.125,5	
Capital residencial	US\$ Millones				25.667,44	
Capital industrial y servicios	US\$ Millones				48.468,45	
Capital público	US\$ Millones				17.989,61	
Daño Anual Esperado	US\$ Millones				236,24	
% daño sobre valor expuesto	%				0,256%	
% daño sobre PIB	%				0,76%	
Valor Expuesto Flujo económico	US\$ Millones				27.863,47	
Agrícola	US\$ Millones				5.725,38	
....,Industrial y servicios	US\$ Millones				22.138,47	
Pérdida anual esperada	US\$ Millones				80,435	
% daño sobre flujos expuesto	%				0,266%	
Tipo de daño causado	<i>T – Período de Retorno</i>					
	10	20	50	100	200	500
Daño por destrucción de activos						
Daño capital residencial	610	680	720	755	785	815
Daño capital industrial y servicios	1.160	1.290	1.370	1.435	1.490	1.550
Daño capital público	420	465	495	520	540	560
Daño por interrupción de actividades						
Daño producción agrícola	470	555	620	680	740	820
Daño producción industrial y	215	280	335	390	445	520
Daño por destrucción de activos	2.190	2.435	2.585	2.710	2.815	2.925
% daño sobre valor expuesto	2,37	2,64	2,81	2,94	3,01	3,17
Pérdidas por interrupción de	685	835	955	1.070	1.185	1.340
% daño sobre flujos expuestos	2,21	2,70	3,09	3,46	3,84	4,33
Daño total	2.875	3.270	3.540	3.780	4.000	4.265
Población total afectada por Inundaciones						
Población Total Expuesta	Personas				6.898.120	
Número anual esperado de afectados	Personas				23.519	
Población afectada	217.1 45	243.4 43	266.1 65	290.4 38	300.5 45	302.79 0
% sobre población expuesta	3,15%	3,53%	3,86%	4,21%	4,36%	4,39%

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo del daño anual esperado se obtiene como la media de la función de probabilidad del daño dada por los daños y períodos de retorno obtenidos (Curva de daño-probabilidad). De forma análoga, se obtiene el valor de las pérdidas anuales esperadas por interrupción de actividades.

Las funciones de excedencia de daños y pérdidas se presentan a continuación, en las figuras adjuntas (Figura 74 y Figura 75), que presentan las distribuciones obtenidas.

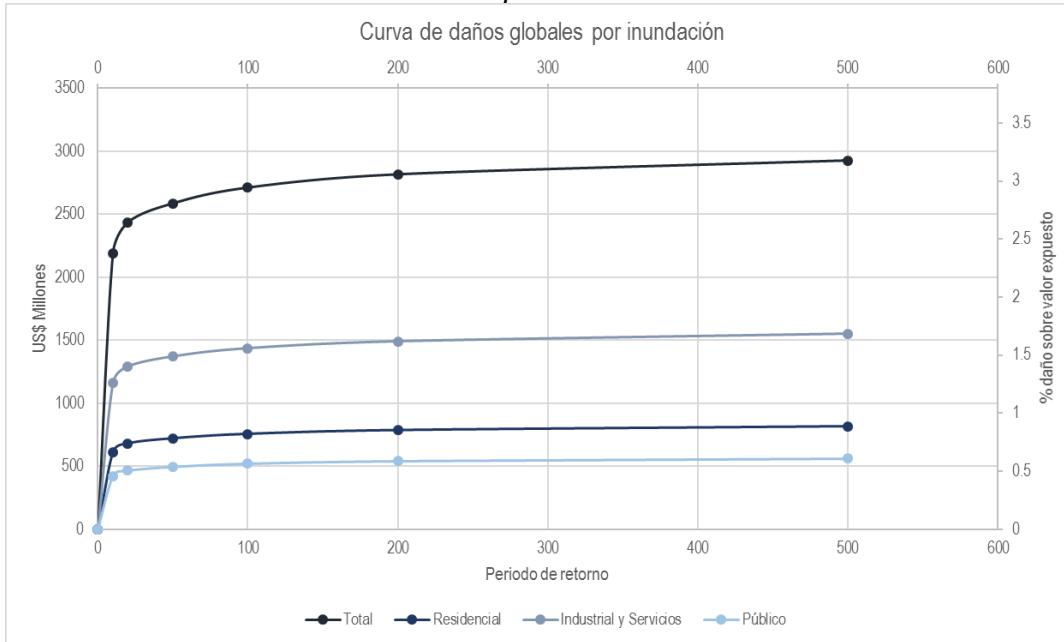
**Figura 74 - Curva de excedencia de afección por inundación sobre personas
Expresado en cantidad de población afectada y porcentaje expuesta**



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que el crecimiento del número de afectados con la intensidad del evento permanece acotado para períodos de retorno superiores a 100 años.

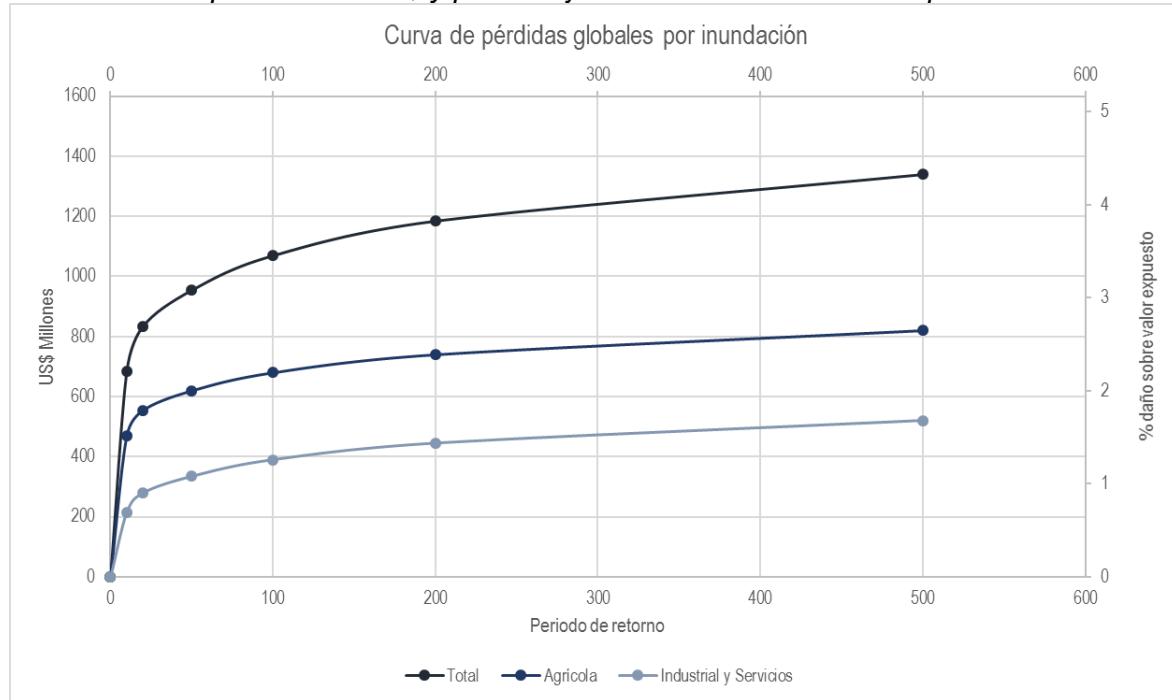
Figura 75 - Curva de excedencia de daños por inundación
Datos por sectores



Fuente: Elaboración propia.

El daño causado por la destrucción de activos, supondría para el periodo de retorno de 10 años un 76 % del total del daño generado en el país. En el mayor periodo de retorno estudiado (T500), se produciría un daño directo del 69% respecto del total generado. El rango del daño indirecto causado por la interrupción de actividades entre los periodos de retorno estudiados de 10 y 500 años supondría un daño entre un 24% y un 31% del daño total para los respectivos periodos de retorno. A continuación, la Figura 76 presenta la curva de excedencia de pérdidas por interrupción de actividades.

Figura 76 - Curva de excedencia de pérdidas por interrupción de actividades
Expresado en US\$ y porcentaje de daño sobre el valor expuesto



Fuente: Elaboración propia.

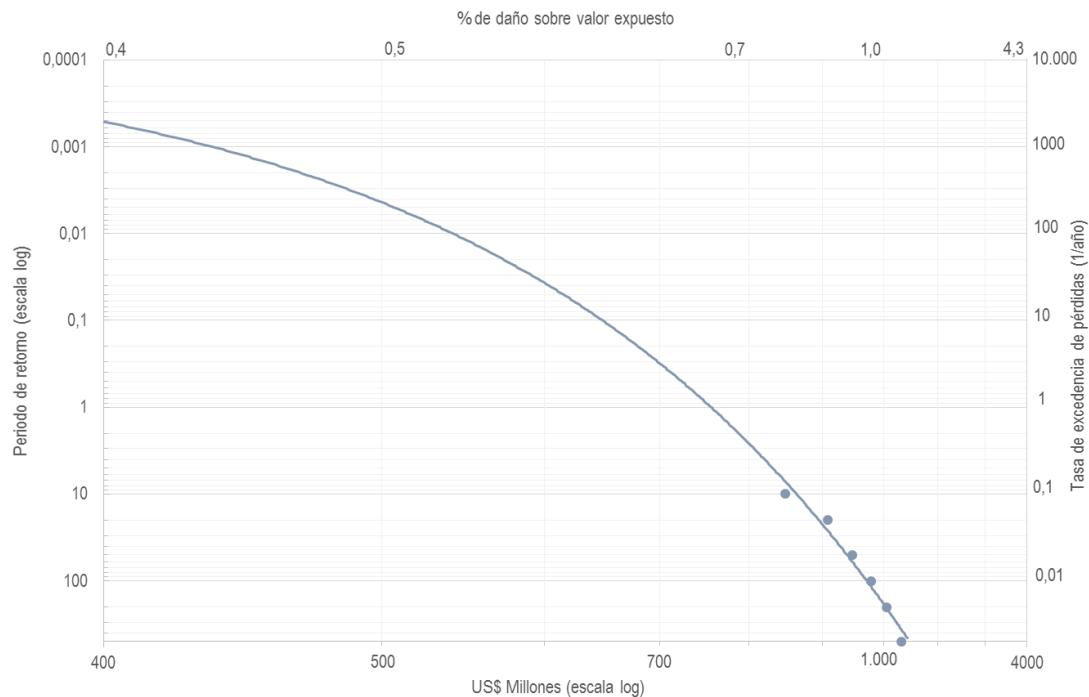
Finalmente, agregando los daños y pérdidas derivados de los eventos de inundación, obtenemos las curvas de excedencia de probabilidad por daños y pérdidas (Figura 80 y

Figura 78) que muestra la interacción entre daños totales y relativos como también el periodo de retorno y tasa de excedencia de probabilidad de los daños. Se observa asimismo, la

distribución de los escenarios extremos calculados y su aportación relativa a la evaluación global del riesgo.

**Figura 77 - Curva de excedencia de daños por inundación
Expresado en porcentaje sobre el valor expuesto**

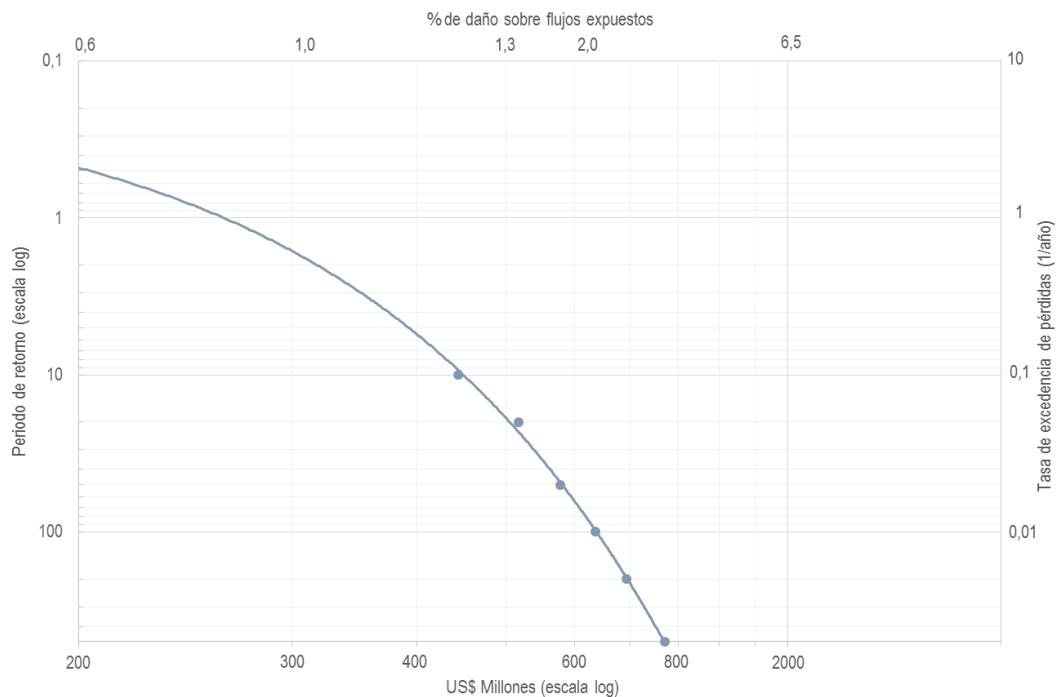
Curva de excedencia de daños sobre activos por inundación



Fuente: Elaboración propia.

Figura 78 - Curva de excedencia de pérdidas por inundación
Expresada en porcentaje de daño sobre flujos expuestos

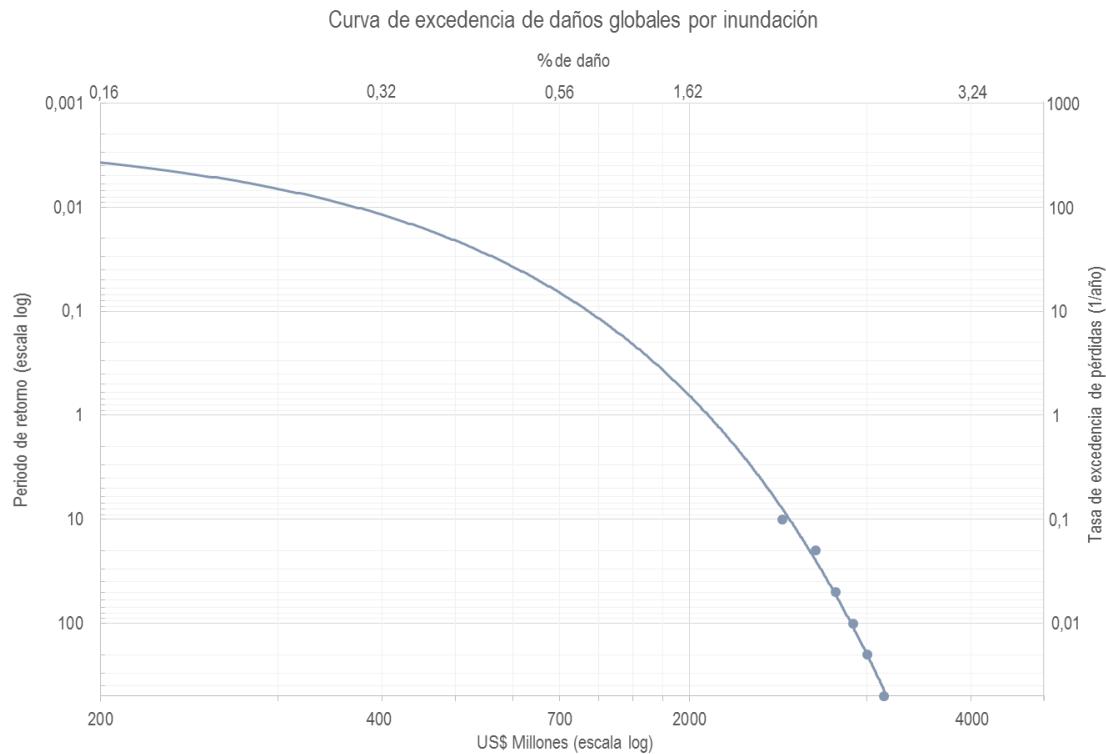
Curva de excedencia de pérdidas por interrupción de actividades por inundación



Fuente: Elaboración propia.

Como resultado final, presentamos en la Figura 82, los resultados agregados a través de la curva de excedencia de probabilidad de los daños y pérdidas combinadas por inundación. En esta curva se sintetizan los resultados anteriores en una única función y se sitúan los escenarios calculados en el rango total de eventuales daños esperables. Se presentan los resultados a escala doble logarítmica.

**Figura 79 - Curva de excedencia de daños globales
Expresado en porcentaje de daño**



Fuente: Elaboración propia.

5.3 Riesgo por Sequía

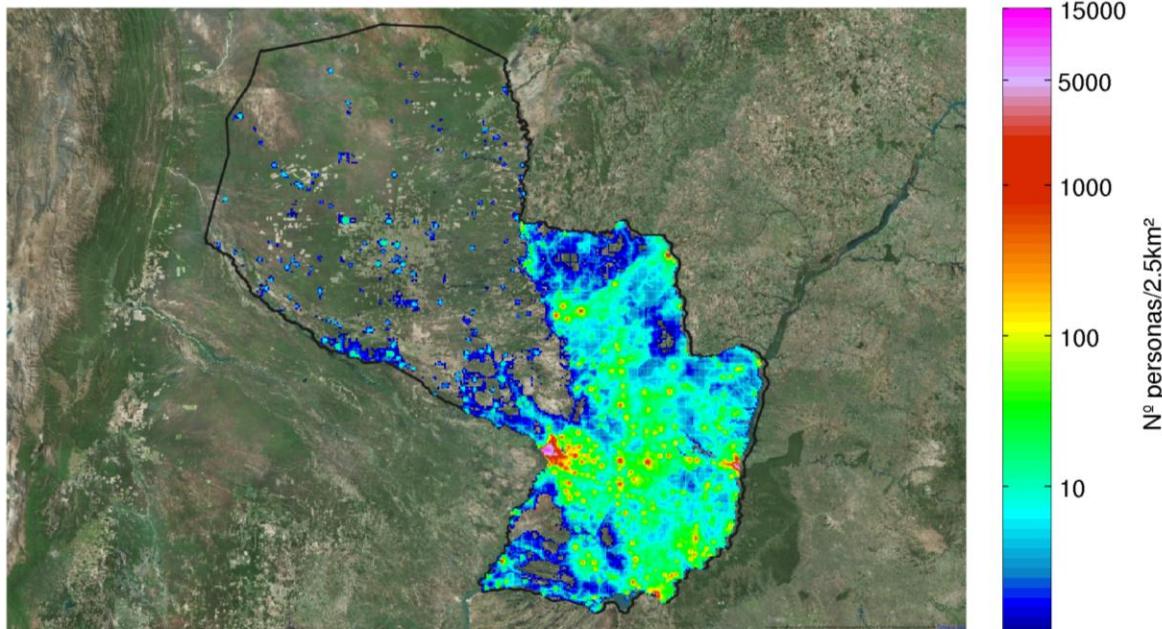
La caracterización del riesgo por sequía contempla el daño desde el punto de vista de la población afectada, del daño producido al ganado y a la producción agrícola. En los siguientes apartados, se presentan los resultados del riesgo que suponen los episodios de sequía en la población con una resolución del tamaño de unidad espacial de 2.5 x 2.5 km. Se han representado las personas afectadas en una superficie de 2.5 km². La pérdida de producción agrícola y ganadera se muestra como US\$ por hectárea con un tamaño de unidad espacial de 2.5 x 2.5 km.

5.3.1 Análisis de la población afectada

La afección a la población por los eventos de sequía motivados fundamentalmente por la no disponibilidad de los recursos hídricos, se agrava con la severidad e intensidad de la misma.

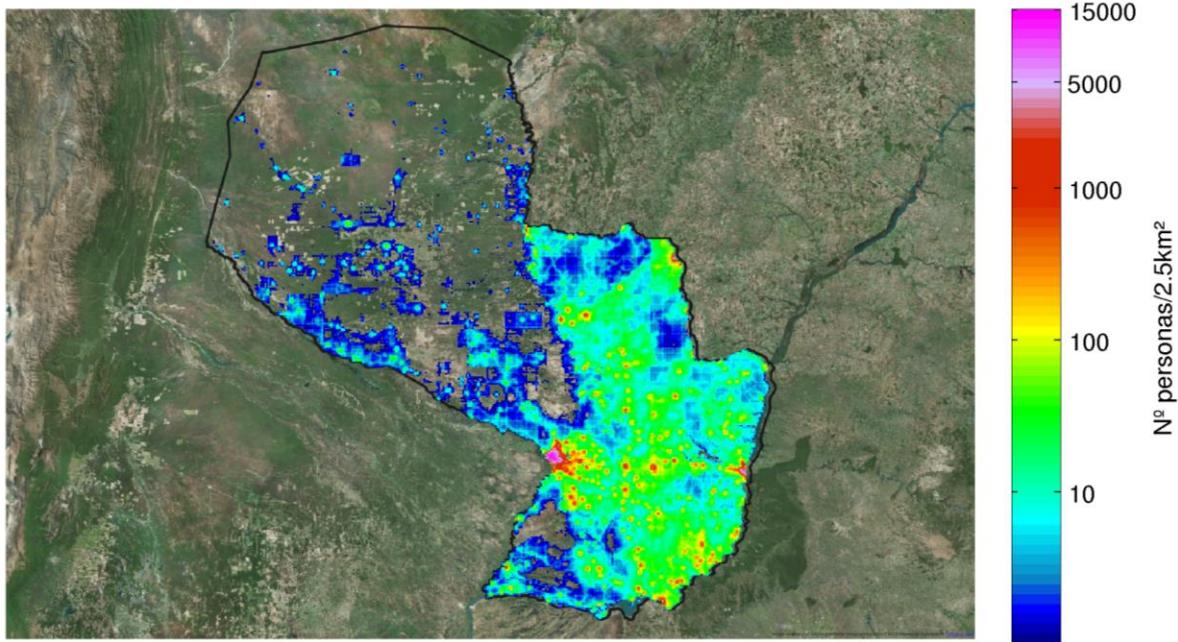
Dada esta amenaza desarrollada en el apartado 3, y la función de vulnerabilidad correspondiente a la población, se ha estimado que los periodos prolongados de sequías afectan a una población de 239.750 habitantes para el periodo de retorno de 20 años y a 322.075 habitantes en el de 100 años. Estos resultados se muestran en la Figura 80 y Figura 81 para ambos periodos de retorno. La población afectada en los periodos de retorno de 10, 50, 200 y 500 años se adjunta en el Anexo E de Riesgo. Según se aprecia en las siguientes imágenes, el mayor número de habitantes afectados por la sequía se distribuye en la zona sur-meridional del país, en concreto, en los núcleos o aglomeraciones más pobladas. La ciudad de Asunción presenta el mayor riesgo, seguida por Ciudad del Este y Encarnación. Existen otras poblaciones con niveles altos de daño como las situadas en el corredor que une Asunción con Ciudad del Este.

Figura 80 - Distribución espacial de la población afectada por la sequía
Expresada en concentración de personas por cada 2.5 km² en la unidad de tiempo T20



Fuente: Elaboración propia.

Figura 81 - Distribución espacial de la población afectada por sequía
Expresada en concentración de personas por cada 2.5 km² en la unidad de tiempo T100



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se presentan los resultados agregados a nivel departamental en la Tabla 26.

Tabla 26 - Distribución de las afecciones a personas por sequías por departamento

Departamento	Población Expuesta	Número de afectados						Valor Medio Anual	% sobre expuesto
		T-10	T-20	T-50	T-100	T-200	T-500		
Asunción	512.919	51.157	109.777	134.159	142.063	142.055	142.055	8.613	1,68%
Concepción	189.381	17.521	32.247	44.345	52.961	53.318	53.318	2.818	1,49%
San Pedro	362.912	29.734	47.302	63.593	74.780	75.624	75.624	4.294	1,18%
Cordillera	288.999	23.372	34.754	43.123	47.441	47.615	47.615	3.118	1,08%
Guairá	199.021	20.410	26.862	29.821	31.882	31.884	31.884	2.443	1,23%
Caaguazú	485.277	48.748	64.753	82.860	96.808	96.943	96.943	6.177	1,27%
Caazapá	151.531	14.998	20.831	29.503	36.736	36.900	36.900	2.038	1,34%
Itapúa	556.300	42.863	76.416	109.557	136.577	137.254	137.254	6.900	1,24%
Misiones	120.634	9.364	14.022	16.374	17.631	17.643	17.643	1.229	1,02%
Paraguarí	239.675	26.411	39.569	53.124	62.129	62.168	62.168	3.660	1,53%
Alto Paraná	817.787	66.783	105.805	126.958	133.882	133.935	133.935	9.122	1,12%
Central	2.374.168	137.401	288.297	387.250	464.530	464.518	464.518	24.037	1,01%
Ñeembucú	84.407	4.911	8.252	10.758	12.692	12.729	12.729	728	0,86%
Amambay	125.874	9.888	17.891	36.111	53.499	53.725	53.725	1.928	1,53%
Canindeyú	203.608	12.870	20.485	26.384	33.483	34.120	34.120	1.860	0,91%

Departamento	Población Expuesta	Número de afectados						Valor Medio Anual	% sobre expuesto
		T-10	T-20	T-50	T-100	T-200	T-500		
Presidente Hayes	110.209	4.553	9.669	14.902	19.846	20.164	20.164	867	0,79%
Boquerón	64.458	1.142	2.162	4.731	8.342	8.694	8.694	254	0,39%
Alto Paraguay	10.961	358	723	1.619	2.592	2.607	2.607	82	0,75%
Total País	6.898.121	522.485	919.818	1.215.170	1.427.874	1.431.893	1.431.893	80.169	1,16%

Fuente: *Elaboración propia.*

5.3.2 Pérdidas en la producción agrícola

Los daños y pérdidas generados en la producción agrícola se extienden a lo largo de todo el país dadas las grandes extensiones dedicadas a la agricultura. Según se observa en la Figura 82 y Figura 83, los daños tienen un rango de afección de entre 10 y 200 US\$/ha. La pérdida total en el país, por daños en la agricultura, se estima que asciende a US\$ 635.50 M en el periodo de retorno de 20 años y a US\$ 688 M en el de 100 años.

Pese a que las pérdidas en la producción se reparten en todo el país, se localizan zonas con mayor incidencia del daño como son el sur del departamento Presidente Hayes, en el norte del departamento Concepción y en el departamento Cordillera. Las zonas agrícolas del Alto Paraná y sur de Itapúa sufren a su vez importantes daños por los eventos de sequía en los diferentes periodos de retorno considerados.

Figura 82 - Pérdidas en la producción agrícola
Expresadas en US\$/ha en la unidad de tiempo T20

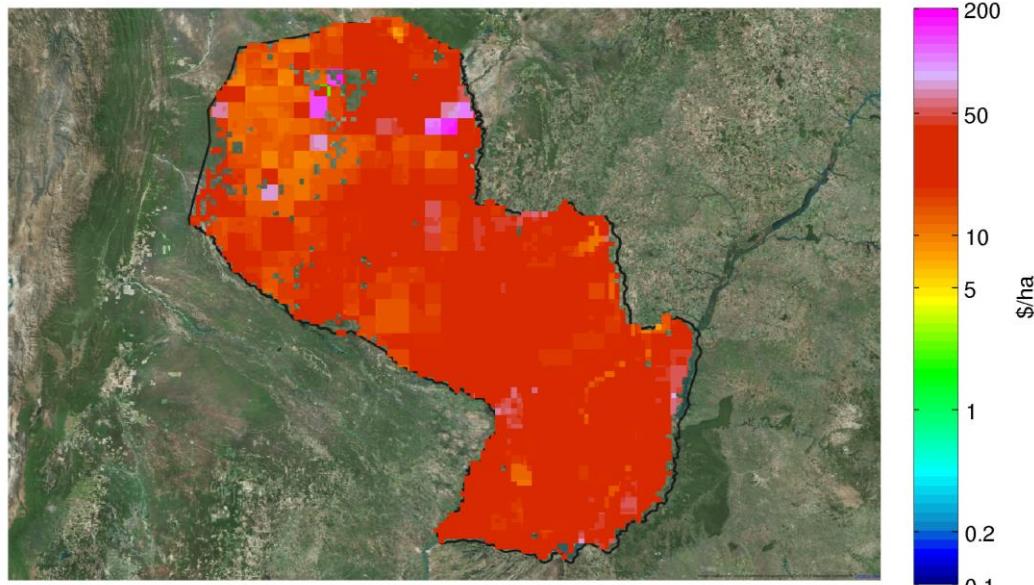
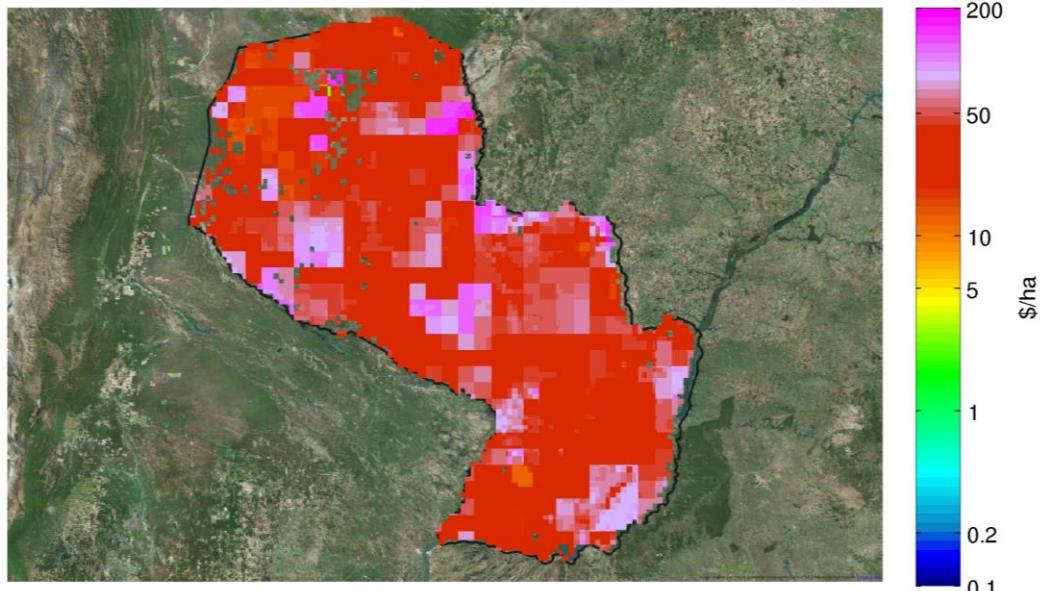


Figura 83 - Pérdidas en la producción agrícola



Expresadas en US\$/ha en la unidad de tiempo T100

Fuente: Elaboración propia.

5.3.3 Pérdidas en la ganadería

En este apartado se analizan los efectos que tienen los períodos de sequías prolongados en la cabaña ganadera del país. Para la estimación de estos impactos, se ha calculado la cuota

de actividad económica derivada de la ganadería sobre el PIB de Paraguay considerándose constante en un 5% (manual compendio de la ganadería paraguaya). Se ha aplicado el PIB del último año publicado. Dado que la información disponible más actualizada es la del censo agrario de 2008, se ha asumido que el número de vacas es constante.

En función de los datos censales de ganadería, se ha distribuido el número de vacas en el territorio, en concordancia con lo reflejado en el censo. Una vez dispuesta la cabaña ganadera a lo largo de todo el país, se calcula el VAB anual por res como un ratio constante de 150 US\$/cabeza localizado con una distribución paralela a la de las vacas. Esto implica asumir que las rentas ganaderas totales se concentran en las áreas donde se concentran las reses. Con ésta cifra se ha calculado la pérdida anual por cese de la actividad ganadera (lucro cesante).

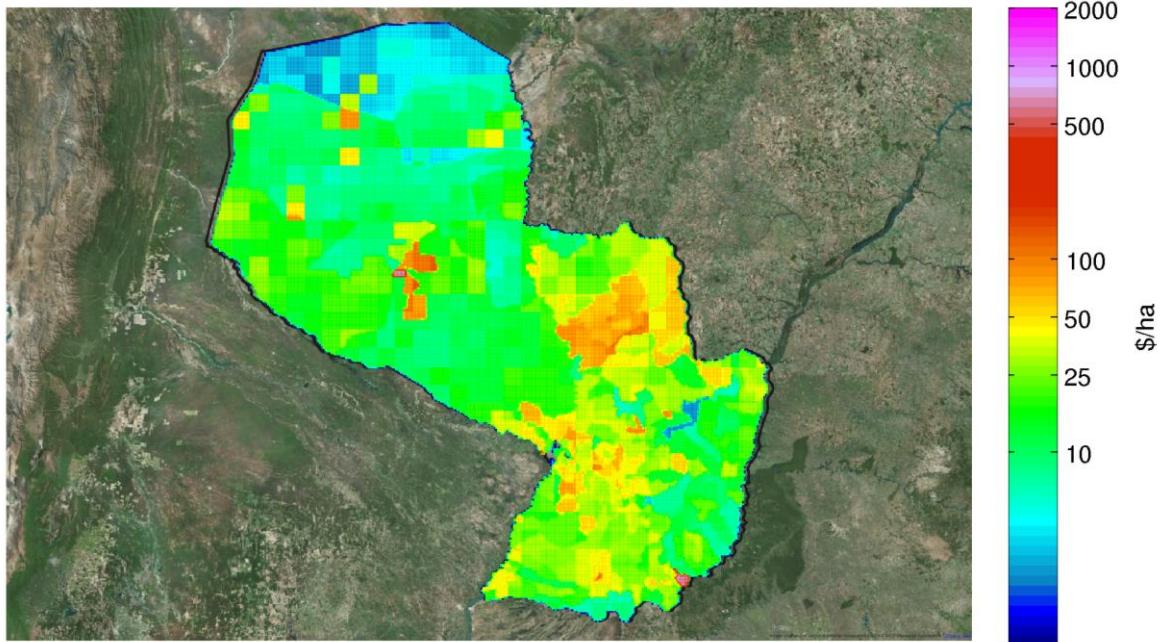
Por último, se ha calculado el VAB. Durante el cálculo del daño por destrucción de activos por pérdida de la cabaña ganadera, se han estimado pérdidas de 5 años de rentas que descontados al 5%, equivalen a un total de pérdidas de 680 US\$/cabeza, localizadas espacialmente de nuevo donde se concentra la cabaña.

Aplicada la metodología expuesta, se han calculado los daños estimados en el periodo de retorno de 20 años y en el de 100 años representados en la Figura 84 y Figura 85, respectivamente. El resto de imágenes relativas a los periodos de retorno de 10, 50, 200 y 500 años se adjuntan en el Anexo E.

Las pérdidas generadas en el sector ganadero por las sequías se estiman en US\$ 400 M para el periodo de retorno de 20 años, y en US\$ 428 M en el de 100 años.

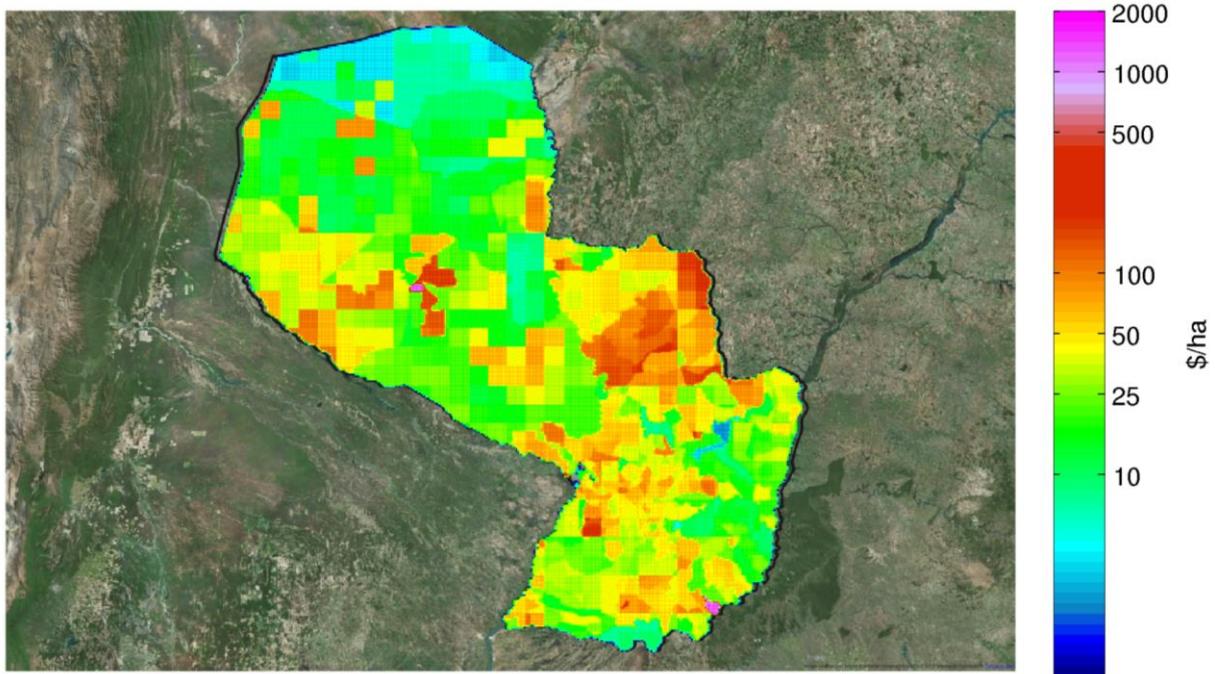
Las zonas más afectadas son el departamento de Presidente Hayes, zona centro meridional de El Chaco (denominado colonias menonitas), la zona centro-oriental, los departamentos de Concepción, Amambay y el sur de Itapúa.

Figura 84 - Pérdidas en la producción ganadera
Expresado en US\$/ha en la unidad de tiempo T20



Fuente: Elaboración propia.

Figura 85 - Pérdidas en la producción ganadera
Expresado en US\$/ha en la unidad de tiempo T100



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la Tabla 27, se presentan los resultados del daño total ocasionado por sequías sobre el medio agrario.

Tabla 27 - Distribución de las afecciones al medio agrario por sequías por departamento
Expresado en US\$ M y porcentajes

Departamento	Flujo VAB Expuesto (Agrario)	Pérdidas por sequía US\$ M (2014)						Perdida Media Anual	% sobre expuesto
		T-10	T-20	T-50	T-100	T-200	T-500		
Asunción	2,81	0,54	0,75	0,68	0,60	0,61	0,64	0,06	0,01%
Concepción	302,10	53,50	60,44	65,74	68,02	70,46	73,44	5,93	0,65%
San Pedro	305,58	53,00	62,87	66,49	65,20	67,24	70,09	5,95	0,83%
Cordillera	93,23	17,72	17,56	15,89	14,29	14,61	15,23	1,66	0,76%
Guairá	61,30	12,98	10,89	9,12	8,22	8,39	8,74	1,07	0,29%
Caaguazú	184,03	35,55	31,71	28,46	27,24	27,88	29,06	3,14	0,34%
Caazapá	155,07	27,20	24,65	25,46	26,25	26,87	28,01	2,56	1,03%
Itapúa	270,97	44,04	52,21	57,89	61,37	62,89	65,56	5,10	0,50%
Misiones	146,99	25,04	22,36	18,79	16,72	17,08	17,81	2,15	3,42%
Paraguarí	136,85	28,41	24,66	22,74	21,37	21,82	22,74	2,48	0,88%
Alto Paraná	238,83	38,94	41,90	39,72	36,86	37,65	39,25	3,91	0,34%
Central	46,30	7,02	10,07	9,83	9,43	9,63	10,04	0,87	0,07%
Ñeembucú	193,24	30,96	29,83	27,20	25,51	26,10	27,21	2,87	1,29%
Amambay	176,43	31,28	31,19	35,29	40,82	42,28	44,08	3,31	0,29%
Canindeyú	220,89	37,29	39,66	38,57	41,22	42,91	44,74	3,84	0,41%
Presidente Hayes	1.155,56	184,51	196,91	203,51	220,77	229,19	238,91	19,51	0,90%
Boquerón	1.078,44	168,35	180,06	211,58	237,50	248,65	259,20	18,84	0,71%
Alto Paraguay	1.023,74	180,70	198,29	199,04	194,61	200,75	209,26	18,89	0,96%
Total País	5.792,36	977,00	1.036,00	1.076,00	1.116,00	1.155,00	1.204,00	102,14	0,29%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la Tabla 28, se presentan los resultados de la valoración agregada de las pérdidas causadas por la sequía tanto al sector de la ganadería, la agricultura, así como a la población total afectada en el país.

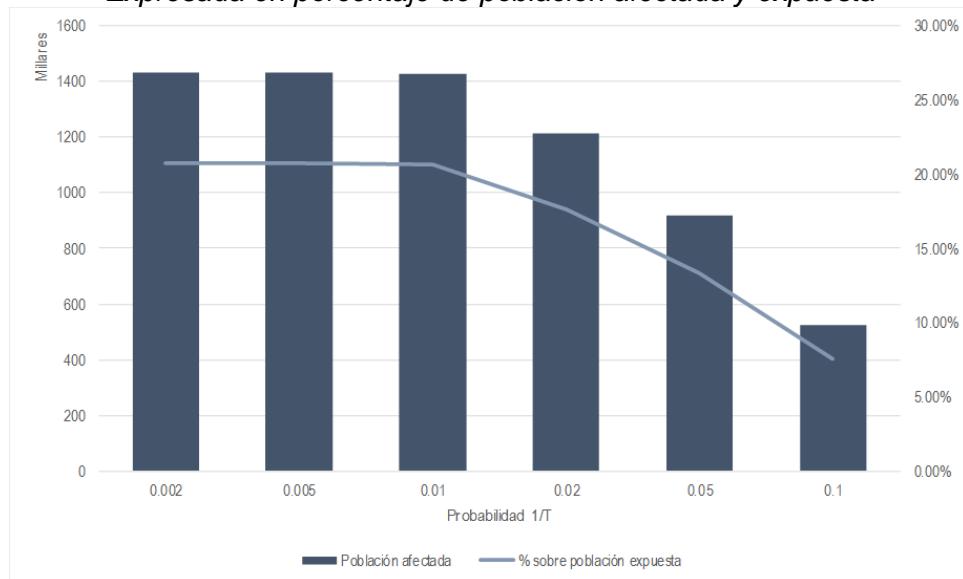
Tabla 28 - Cuantificación de los daños y pérdidas por sequía personas afectadas
Expresado en US\$ y porcentaje

Pérdidas causadas por Sequía(Millones US\$)						
Valor Expuesto VAB Agrícola	US\$ Millones				5.725,38	
Pérdida anual esperada	US\$ Millones				102,143	
% daño sobre flujos expuesto	%				1,78%	
Tipo de Pérdida causada	T – Período de Retorno					
	10	20	50	100	200	500
Pérdidas a la agricultura	599	636	662	688	714	748
Pérdidas a la ganadería	378	400	414	428	441	456
Pérdidas Totales	977	1.036	1.076	1.116	1.155	1.204
% daño sobre exposición	17,06	18,09	18,79	19,49	20,17	21,03
Población total afectada por sequía						
Población Total Expuesta	Personas				6.898.120	
Número anual esperado de afectados	Personas				80.169	
Población afectada	522.4 85	918.8 18	1.215. 17	1.427.8 74	1.431.8 93	1.431.8 93
% sobre población expuesta	7,57%	13,33 %	17,62 %	20,70%	20,76%	20,76%

Fuente: Elaboración propia.

Las curvas de excedencia de personas afectadas y daños agrícolas se presentan en la Figura 86.

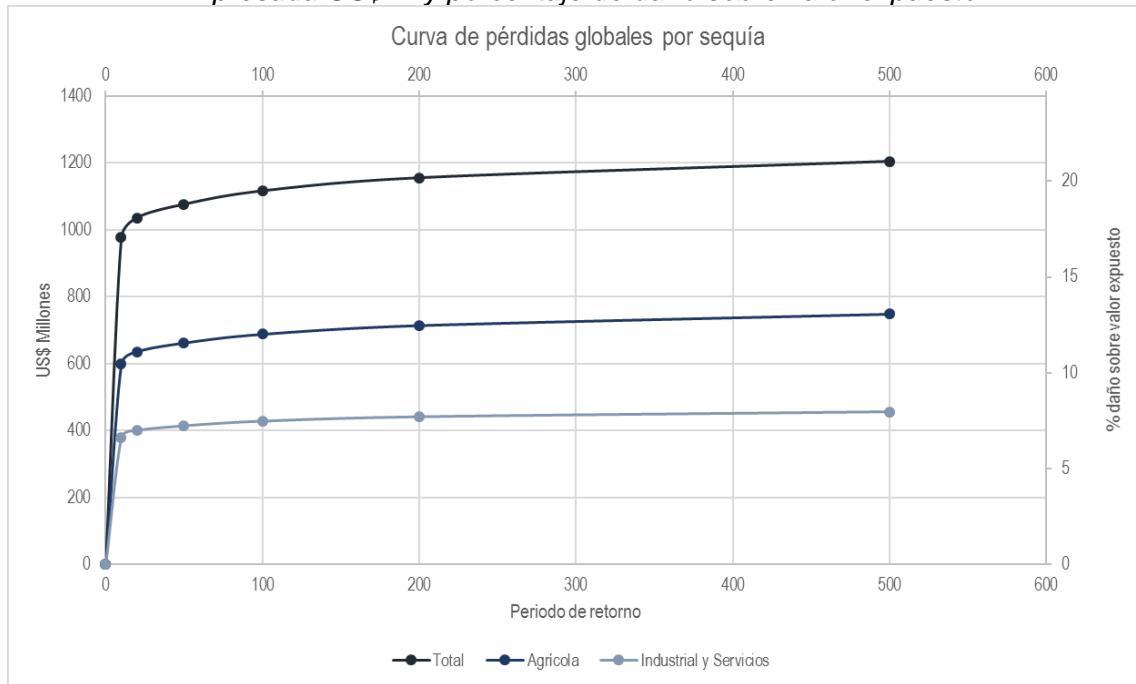
Figura 86 - Curva de excedencia de afección por sequía a personas
Expresada en porcentaje de población afectada y expuesta



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 87 se muestra la actividad económica.

**Figura 87 - Curva de excedencia de afección por sequía a actividades agrarias
Expresada US\$ M y porcentaje de daño sobre valor expuesto**

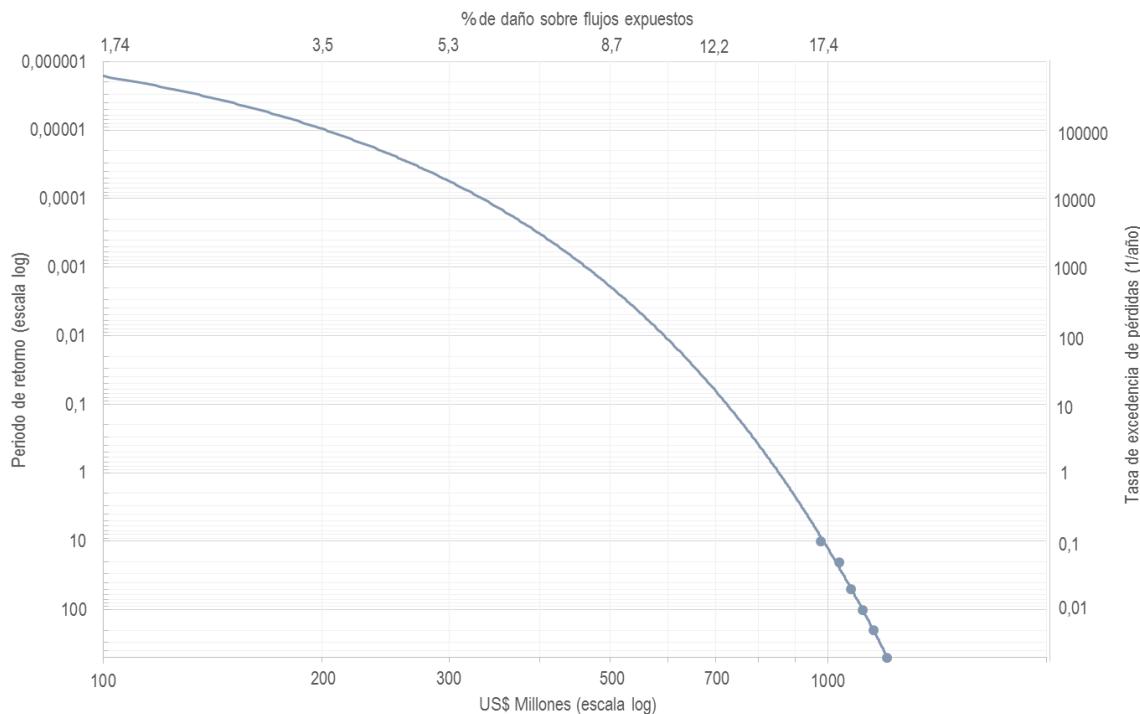


Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, presentamos en la Figura 88, la curva de excedencia de daños por sequía que combina daños absolutos y relativos con períodos de retorno y tasas de excedencia de probabilidad. Presenta los resultados en escala doble logarítmica y sitúa los escenarios calculados en el rango total de eventuales daños esperables.

Figura 88 - Curva de excedencia de pérdidas por sequía
Expresado en porcentaje de daño sobre flujos expuestos

Curva de excedencia de pérdidas por interrupción de actividades por sequía



Fuente: Elaboración propia.

5.4 Riesgo por Incendio

Para la caracterización del riesgo por incendio forestal se han realizado los siguientes análisis:

- En primer lugar, se ha realizado un análisis de la susceptibilidad cualitativa de incendio, haciendo un cruce de los datos obtenidos en el epígrafe 3 (Amenaza) y en el epígrafe 4 (Exposición y Vulnerabilidad) y huellas de incendio. Con esto se obtiene la caracterización del territorio del país en cuanto a susceptibilidad agregando el dato de valor expuesto. No se trata de un análisis de riesgo, pero sí de obtener una categorización del territorio del país, mostrando las zonas que presentan mayor o menor susceptibilidad ante incendios forestales teniendo en cuenta el valor expuesto del mismo.
- Análisis de la población afectada asociada a daños socioeconómicos directos a seres humanos y viviendas de acuerdo con los datos disponibles.

- Cálculo de un riesgo cuantitativo promedio de acuerdo a los registros de superficies quemadas entre 2001 y 2010.

En los siguientes apartados se presentan los resultados obtenidos. La metodología de cálculo completa puede ser consultada en el Anexo E de este documento. A continuación, únicamente se van a mostrar los resultados obtenidos.

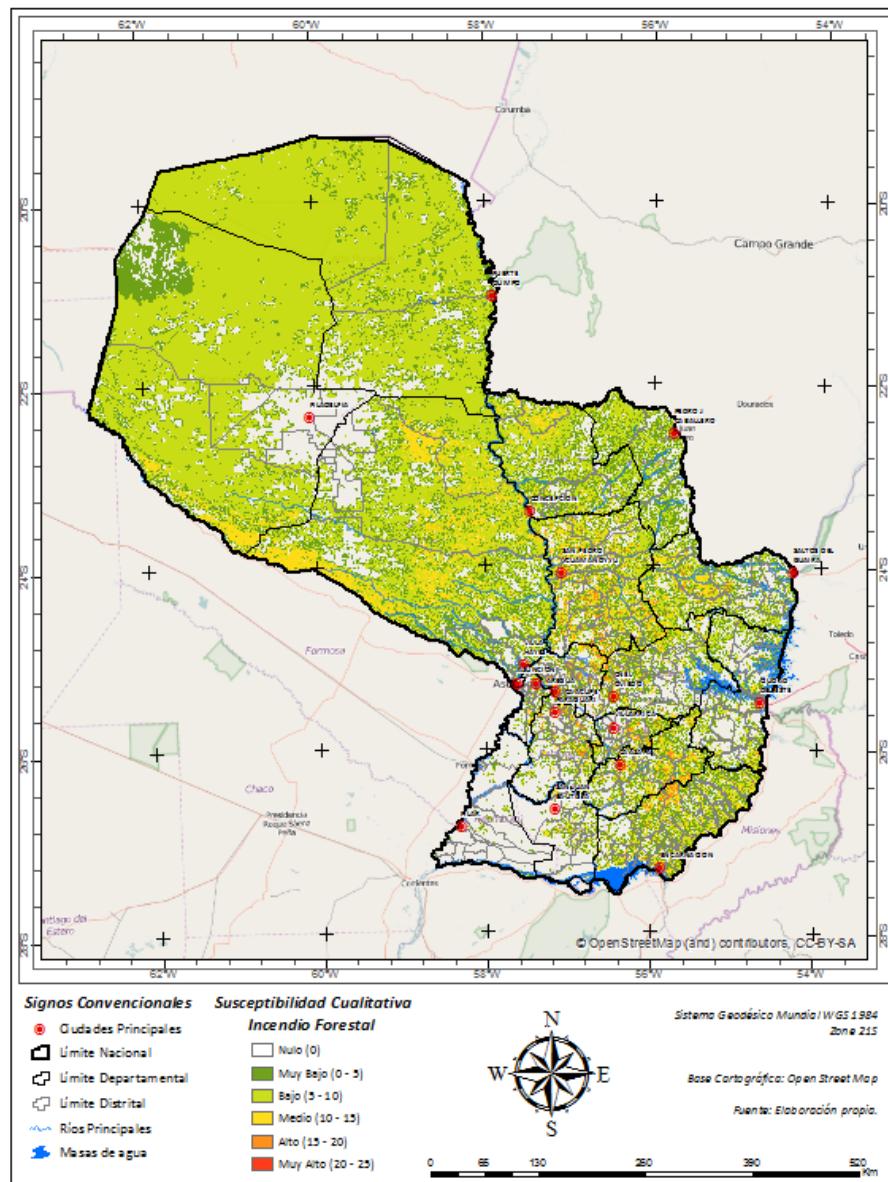
5.4.1 Susceptibilidad cualitativa de Incendio Forestal.

Esta aproximación a la susceptibilidad cualitativa por incendio forestal ha sido calculada mediante el cruce del mapa de susceptibilidad / amenaza de incendio forestal con el de elementos expuestos ante incendio forestal.

Con ello se obtiene la categorización del territorio en las zonas forestales del país que son las que se considera que pueden ser afectadas por incendios forestales.

En la Figura 89 se muestra el resultado de esta yuxtaposición, así como una tabla resumen se muestran las superficies que acumula cada una de las categorías.

Figura 89 - Susceptibilidad cualitativa de incendio forestal



Fuente: Elaboración propia.

Tal y como se ha mostrado, en la susceptibilidad cualitativa de incendio forestal, se ha dividido en seis rangos proporcionalmente divididos. A continuación, en la Tabla 29, se muestran las superficies del país (cabe recordar que el análisis ha sido realizado únicamente en las masas boscosas o forestales del país) en cuanto a esta categorización.

Tabla 29 - Susceptibilidad cualitativa de incendio forestal
Superficies acumuladas por categoría de susceptibilidad

Categoría Susceptibilidad Cualitativa	Superficies (has)	% respecto total
Nulo (0)	12.086.979	25.49
Muy Bajo (0 – 20)	10.204.832	21.52
Bajo (20 – 40)	21.452.099	45.24
Medio (40 – 60)	3.213.558	6.78
Alto (60 – 80)	460.963	0.97
Muy Alto (80 – 100)	98	0.00

Fuente: Elaboración propia.

Tal y como se muestra, la mayor parte de la superficie del país se encuentra englobada en zonas con una categoría de susceptibilidad cualitativa de incendio considerada “baja”. Además, es destacable también el porcentaje de superficie (mayor del 25%) incluida en zonas con una susceptibilidad cualitativa de incendio nula (zonas no forestales. poblaciones. masas de agua. etc.).

Una vez obtenida esta categorización, se ha procedido a realizar una aproximación a la susceptibilidad de incendio forestal de manera cualitativa, teniendo en cuenta la información disponible en el Atlas de Riesgo en cuanto a Huellas de Incendio del periodo de años 2001-2010 de Paraguay debido al notable carácter antrópico de esta amenaza.

Esta información muestra las zonas boscosas del país que se han quemado anualmente desde el año 2001 hasta el año 2010. Cabe resaltar que, existen zonas quemadas del país que coinciden espacialmente año tras año, lo cual indica que aparentemente habrían sido quemadas en años sucesivos, o de forma cíclica a lo largo de esta serie de registro de 10 años. De esta manera, se registran zonas que acumulan 9 años de quema dentro de los 10 años considerados.

Para ello, las huellas de incendio han sido tomadas en consideración con carácter acumulativo, es decir, ponderarán con mayor importancia o peso, las zonas que se hayan quemado 2 o más veces en el periodo considerado y de forma proporcional.

El cruce de este cálculo, por lo tanto, lo componen el mapa de susceptibilidad cualitativa calculado anteriormente, y el mapa de incendios acumulados. Las variables se integrarán en forma de matriz de doble entrada tal y como se detalla en el Anexo E.

El resultado obtenido se expone en la siguiente Figura 90, la cual es acompañada de la Tabla 30 que refleja numéricamente la distribución superficial de la susceptibilidad.

Figura 90 - Susceptibilidad cualitativa de incendio forestal vs áreas quemadas

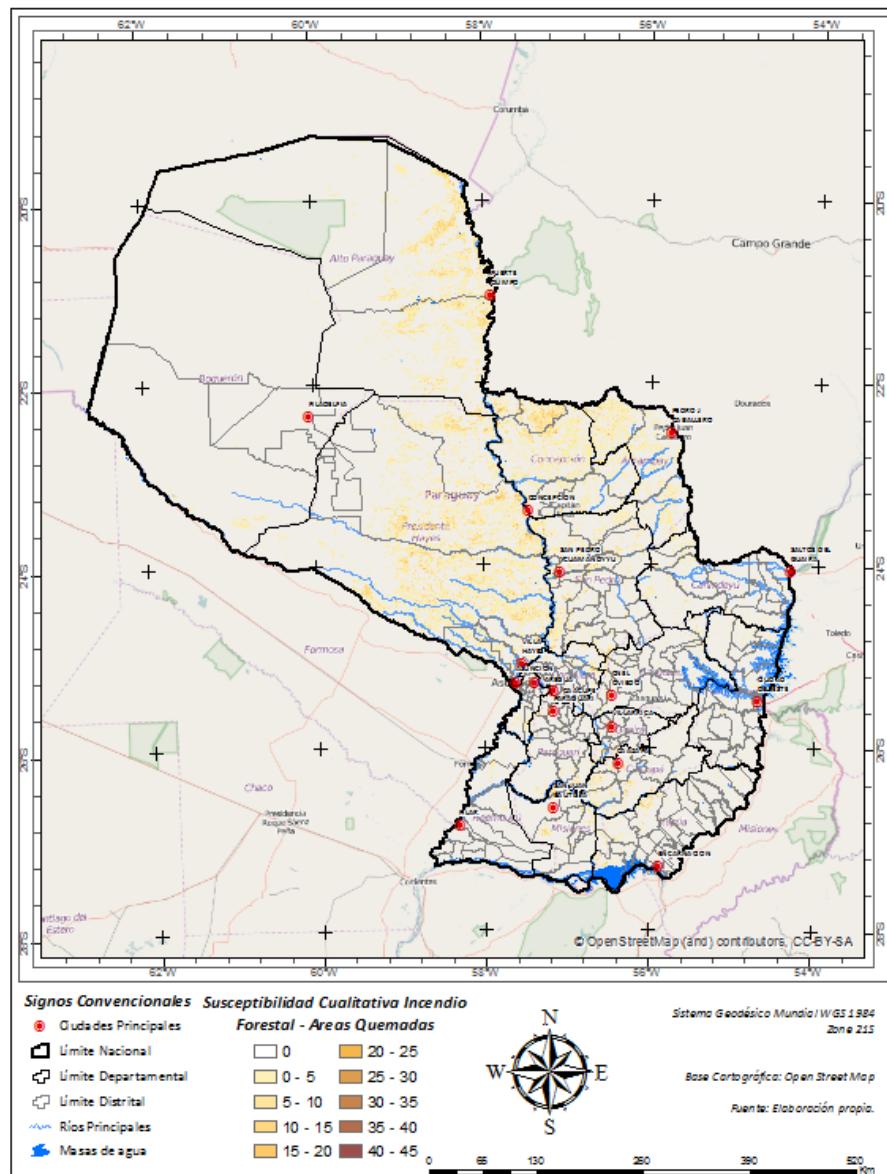


Tabla 30 - Susceptibilidad cualitativa de incendio forestal de áreas quemadas
Superficies acumuladas por categoría

Rango	Superficies (ha)	% Respeto Total
0	35.100.758.09	88.14
0-5	3.849.144.07	9.67
5-10	715.304.39	1.80
10-15	132.367.14	0.33

Rango	Superficies (ha)	% Respecto Total
15-20	22.239.89	0.06
20-25	4.345.44	0.01
25-30	321.89	0.00
30-35	9.97	0.00
35-40	0.00	0.00
40-45	0.00	0.00

Fuente: *Elaboración propia.*

Tal y como se puede apreciar, la mayor parte del territorio del Paraguay, un 88%, coincide con zonas con categoría nula de susceptibilidad cualitativa de incendio forestal, bien por tratarse de zonas no incendiadas a lo largo del periodo de registro, zonas no forestales, poblaciones, masas de agua, etc. de acuerdo al análisis y ponderación realizados.

5.4.2 Análisis de la población afectada

De una forma similar al cálculo estadístico que se ha realizado para los daños a las masas forestales (siguiente epígrafe), para la población afectada por los incendios forestales, se ha realizado una proyección de acuerdo a los datos disponibles²¹ más detallados, concretamente los del año 2007 (DESINVENTAR, 2015). Este enfoque se considera práctico y el resultado se presenta a título orientativo, en concordancia con los desarrollos mostrados para las anteriores amenazas.

El proceso de estimación ha consistido en la proyección directa del número de personas afectadas, de alguna manera no definida en la plataforma, y viviendas destruidas en 2007 a los años 2001 a 2010 de acuerdo a la relación de sus respectivas superficies quemadas respecto a la del año de referencia. El cálculo se ilustra en la tabla en el Anexo A. A continuación, se presenta los resultados en la tabla

²¹ Plataforma DESINVENTAR actualizada a fecha de febrero de 2015.

Tabla 31.

Tabla 31 - Nº promedio anual de afectados y viviendas destruidas por incendios forestales

	Damnificados / Afectados*	Viviendas destruidas
Promedios Anuales	72.740	72.9

* La plataforma DESINVENTAR no define el grado o tipo de afección

Fuente: Elaboración propia a partir de datos DESINVENTAR.

Se estima que el número promedio anual de personas afectadas de una u otra manera por la ocurrencia de incendios forestales es de unos 70.000, mientras que, esta amenaza podría causar la destrucción de unas 70 viviendas (no asociado a ningún periodo de retorno).

Cabe indicar que los valores nominales de ecorregiones vigentes en el país incluyen, de forma indirecta, los valores intangibles socioeconómicos en las distintas zonas del país. Ahora bien, entendemos que se trata de otro tipo de valor, no trasladable al tipo de daño concreto que se ha querido cuantificar en este apartado.

5.4.3 Riesgo cuantitativo promedio de incendio forestal.

Por otro lado, con objeto de evaluar el riesgo cuantitativo promedio del país en cuanto a incendios forestales, se ha trabajado nuevamente con los datos existentes en el Atlas de Riesgo relativos a áreas quemadas (serie de datos 2001-2010).

Es importante destacar que el cálculo realizado en esta aproximación ha sido elaborado únicamente con los datos de estas zonas, es decir, solamente se han tenido en cuenta las zonas inventariadas quemadas en el registro de los años 2001-2010. Se ha realizado el cruce de estas zonas con el mapa de elementos expuestos calculado anteriormente. Con esto se asigna el valor nominal calculado a esas zonas quemadas, por lo que con ello se obtiene el valor teórico perdido que han generado esos incendios.

La duda que plantean estos datos de superficie en combinación con las bases *raster* asociadas en las que estos se plasman, es la constatación de que múltiples huellas de quema se solapan en años sucesivos sobre zonas teóricamente identificadas como cubiertas con masas forestales, pero en las que en realidad resulta imposible que se haya regenerado el bosque en un plazo tan breve. Por tanto, la pregunta que se plantea es qué tipo de vegetación se quema en años sucesivos, o con intervalo irregular, tras el primer incendio, hierba, nuevos brotes de los árboles quemados, arbustos del monte bajo recuperado o, debido a la humedad y condiciones climatológicas de Paraguay, o si realmente el crecimiento de la masa forestal en el país es mucho más rápido de lo habitual que en otras latitudes. Evidentemente, esta última hipótesis parece menos probable.

Atendiendo a la falta de información más concreta, o de un registro de áreas quemadas más amplio, finalmente se ha optado por plantear el riesgo de incendio en términos de “orden de magnitud”.

Para ello, se han planteado tres escenarios distintos, que varían entre los órdenes de pérdida probable esperada mínima y máxima. Estos tres escenarios considerados son los siguientes:

- **Valor mínimo:** Se considera que la masa forestal no tiene capacidad de regeneración en el plazo de 10 años con los datos disponibles, por lo que se cuenta como valor perdido únicamente el que alberga el bosque durante su primera quema. asumiendo una vulnerabilidad máxima del 100%. ante el evento de incendio.
- **Valor medio:** Trata de simular la realidad de los bosques de Paraguay reflejada en las sucesivas huellas de quema que frecuentemente se solapan en zonas ya quemadas previamente. Se ha interpretado que posiblemente la vulnerabilidad media, ante el primer incendio, sea inferior al 100% por lo que tras esa quema se mantiene la masa forestal dispersa que puede sufrir nuevos incendios en los siguientes años.

Ahora bien, la sucesiva vulnerabilidad de esa misma superficie se irá reduciendo progresivamente al quedar cada vez menos arbolado con valor específico remanente, además de encontrarse este más disperso. Por otro lado, la sucesiva quema de superficies en las que la masa arbórea aún no se haya recuperado, o lo haya hecho solo parcialmente, igualmente puede cuantificarse como pérdida económica por el

tiempo de desarrollo de la masa forestal perdido que esta necesita para su óptima recuperación.

En consecuencia, parece razonable atribuir a aquellas huellas de incendio sucesivo cierto valor cuantitativo de pérdida, pero con menor índice de vulnerabilidad para reflejar así que la masa forestal sólo se ha recuperado en parte.

- **Valor máximo:** Se asume una recuperación completa de la masa forestal en años sucesivos y se contabiliza la pérdida completa ocasionada por los incendios año tras año incluso en las zonas en las que se solapan las huellas de quema. Es decir, se otorga la vulnerabilidad máxima (100%) a todas las zonas que han sido quemadas año tras año sin importar el número de veces que hayan sido destruidas por el fuego en el periodo considerado.

A continuación, en la Tabla 32 se expone el resultado del cálculo. En el Anexo E se puede consultar la metodología de cálculo detallada, así como los porcentajes de vulnerabilidad aplicados en el caso concreto del cálculo del valor medio.

Tabla 32 - Pérdida media esperada por año por incendios forestales según escenarios de cálculo

Expresado en US\$ MM

Pérdida probable esperada anual por incendios forestales MM US\$).		
Mínimo	Medio	Máximo
87,00	166,30	309,30

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los datos reflejados en la anterior tabla, se puede concluir que la estimación de riesgo económico promedio en Paraguay se encuentra en un orden de magnitud de entre unos 90 y 300 millones de dólares, si bien, se cree que el dato real es de unos US\$ 160 MM al año.

6. Conclusiones

6.1 Conclusiones del riesgo de inundación

La naturaleza de los daños y pérdidas evaluados y la adecuación de las medidas de adaptación en un contexto de gestión y reducción de riesgos de desastres, deben basarse en un análisis de las causas implícitas del problema. Se puede combinar de forma diversa los problemas de concentración de activos en áreas vulnerables, de falta de información o de disponibilidad limitada y variable en el tiempo y espacio de medios básicos, y también se pueden aportar visiones cualitativas de detalle que van más allá del objeto de este estudio.

Del análisis de la amenaza por inundación, se asume que los modelos utilizados (VIC y Cama-Flood) son suficientemente robustos y consistentes para la simulación de los eventos de inundación, dados los resultados obtenidos en el proceso de validación.

El análisis de inundaciones extremas, muestra como, por ejemplo, para un periodo de retorno de 500 años, en la zona de Ciudad del Este pueden producirse crecidas de hasta 25 metros, donde el río Paraná confluye con el Iguazú. También se producen crecidas importantes en la zona de Saltos de Guairá y Asunción.

Las zonas con mayores áreas inundadas, están al norte, en el humedal y al sur en el Paraná antes de la confluencia con el río Paraguay. Otras zonas que destacan por su porcentaje de área inundada, se producen a lo largo del río Pilcomayo, en el río Tebicuary afluente del Paraguay y en zonas cercanas a Concepción.

El riesgo por inundación obtenido de la aplicación de las funciones de vulnerabilidad muestra que, de forma generalizada, se produce mayor impacto en la zona sur del país. La población afectada por los procesos de inundación que sufre Paraguay para el periodo de retorno de 100 años es de 282.235 personas. Las ubicaciones concretas dónde se refleja la mayor afección son Asunción, Ciudad del Este, el pantanal paraguayo, el río Pilcomayo y el sur del país en la zona de Encarnación y Ayolas.

Los daños agregados por la destrucción de activos causados por las inundaciones en el periodo de retorno de 100 años ascienden a US\$ 2.710 M. Los principales daños por destrucción de sus activos ocurren en las ciudades de Asunción, Ciudad del Este, en los núcleos ubicados en el corredor que une ambas ciudades y en Encarnación.

Los daños generados por el cese o interrupción de la actividad, se han cuantificado en US\$ 1.070 M (T100). Estos impactos se encuentran en el área inundable del río Paraná al sur de Ñeembucú, Misiones, Itapúa, Asunción y Ciudad del Este. Así mismo, se observan valores altos de los daños por la interrupción de la actividad en los márgenes inundables del río Pilcomayo al sur del departamento de Boquerón.

El daño total generado (suma de daños a activas más pérdidas de actividad) por el riesgo de inundación para el periodo de retorno de 100 años, asciende a US\$ 3.780 M. Las regiones más afectadas por eventos de inundación son la zonas centro y sur del país. Destacan las ciudades con mayores daños que son Asunción, Ciudad del Este y Encarnación. Con respecto a las inundaciones del río Paraná generan elevados daños en la zona sur de los departamentos de Ñeembucú y Misiones, así como en núcleos tales como Ayolas y Pilar.

6.2 Conclusiones del riesgo de sequía

Después de analizar los resultados obtenidos en el proceso de validación de los eventos de las sequías históricas, se puede concluir que el índice de sequía VIC, ha reflejado de forma fiable aquellas sequías históricas que ha sufrido el país.

La zona con menor número de sequías corresponde con el Pantanal paraguayo, y es la zona norte la que presenta mayor número de eventos. El tipo de sequía que sufre el país está caracterizado por ser de corta duración, de entre 1 a 3 meses.

Los resultados obtenidos para la variable “severidad de la sequía” asociada a un periodo de retorno de 500 años, muestran que las zonas con mayor duración y mayor severidad de la sequía, están en el Chaco y centro del país.

Se ha estimado que los periodos de sequías afectan a una población de 322.075 habitantes en el periodo de retorno de 100 años. La cifra anual esperada para los afectados por sequías se sitúa en torno a 80.000 habitantes al año. De ellos, el mayor número de afectados por la sequía se distribuye en la zona sur-meridional del país, en los núcleos con mayor densidad de población. La ciudad de Asunción presenta el mayor riesgo, seguida por Ciudad del Este y Encarnación. Existen otras poblaciones con niveles altos de daño como las situadas en el corredor que une Asunción con Ciudad del Este.

Desde el punto de vista de la producción, se han cuantificado los daños producidos en la agricultura y ganadería por impacto de las sequías. Se estima que los daños y pérdidas generados a nivel de país en el sector agrícola, asciende a US\$ 688 M en el periodo de retorno de 100 años. En conjunto, las pérdidas agrícolas no muestran sensibilidad a la elevación del periodo de retorno. El daño medio anual esperado correspondiente a las pérdidas totales del medio agrícola asciende a una cifra de US\$ 102 M.

Las zonas agrícolas con mayor incidencia del daño por sequía son el sur del departamento Presidente Hayes, en el norte del departamento Concepción y en el departamento Cordillera. Las zonas dedicadas a la agricultura, situadas en el Alto Paraná y sur de Itapúa sufren a su vez elevados daños.

Por último, se ha cuantificado los daños y pérdidas del sector ganadero por la incidencia de las sequías en US\$ 428 M en el periodo de retorno de 100 años. Las zonas más afectadas son el departamento de Presidente Hayes, zona centro meridional de El Chaco, la zona centro-oriental, los departamentos de Concepción, Amambay y el sur de Itapúa.

6.3 Conclusiones del riesgo de incendio forestal

El estudio de evaluación de riesgo por incendio forestal de Paraguay ha tenido dos enfoques complementarios. Por un lado, se ha realizado una valoración de riesgo cualitativo ponderado partiendo de la elaboración del mapa de susceptibilidad de riesgo del país, y por otro, se hizo un cálculo de riesgo cuantitativo promedio anual, usando datos disponibles respecto a superficie quemada a lo largo del periodo 2001-2010. Complementariamente, se ha evaluado la afección socioeconómica en términos de promedio de afectados y viviendas destruidas anualmente.

La evaluación de posibles causas que permiten establecer una asociación entre recurrencia e intensidad de la amenaza en el país, tal como podría ser la incidencia de los fenómenos El Niño y La Niña a nivel global, no ha dado un resultado concluyente, de tal forma que se deduce que el factor humano es fundamental en la ocurrencia de esta amenaza en el país. Esta situación dificulta aplicar el modelo de la amenaza de acuerdo a metodologías probabilísticas similares a las aplicadas para otras amenazas naturales.

En términos económicos, el cálculo del valor expuesto, así como el de riesgos, se ha centrado en la masa forestal maderable, cuyo valor se ha asociado al valor medio por hectárea fijado en Paraguay por la Secretaría del Ambiente para las Ecorregiones. En este cálculo, se ha asignado a las zonas naturales protegidas un 20% de valor añadido.

Se estima que el valor expuesto de masa forestal en el país es de unos US\$ 12.800 M en 2014. En términos absolutos, destacan los departamentos de Boquerón, Alto Paraguay y Presidente Hayes con respectivamente US\$ 3.262 M, 3.244 M y 2.665 M de aportación, es decir, los tres departamentos que componen el Chaco, mientras que en términos relativos, sobresalen San Pedro, Alto Paraguay, Boquerón y, una vez más, Presidente Hayes con US\$ 423 M, US\$ 418 M, US\$ 364 M y US\$ 361 M por hectárea respectivamente.

En relación con los datos socioeconómicos disponibles, se ha calculado, de forma orientativa, que el número promedio anual de personas afectadas de una u otra manera por la ocurrencia de incendios forestales es de 70.000 personas, mientras que esta amenaza podría destruir unas 70 viviendas.

En términos de susceptibilidad cualitativa, el modelo elaborado indica que la mayor parte de la superficie del país se encuentra englobada en zonas con una categoría de susceptibilidad cualitativa de incendio considerada “baja”. Además, es destacable también el porcentaje de superficie (mayor del 25%) incluida en zonas con una susceptibilidad cualitativa de incendio nula (zonas no forestales, poblaciones, masas de agua, etc.). Cruzando estos datos con los mapas de huella de incendio de la década 2001-2010, se concluye que hasta un 88% del territorio paraguayo se encuentra en zonas con nivel nulo de susceptibilidad cualitativa de incendio forestal (zonas que no han sido incendiadas a lo largo del periodo de registro, zonas no forestales, poblaciones, masas de agua, etc.).

De acuerdo a la estimación estadística de riesgo económico realizada, se estima que los daños producidos por los incendios sobre las masas forestales maderables están entre unos US\$ 90 y 300 M, si bien, se cree que es más probable que el dato real sea de unos US\$ 160 M al año.

7. Referencias

- ABC-Color 2014. Periódico digital de Paraguay. <http://www.abc.com.py/>.
- Báez, J. B. and R. D. Monte2014. "Analysis of meteorological drought episodes in Paraguay".*Climate Change*. 127. 15-25.
- Borys, Paul 2010.Experiencias en manejo forestal con productores de pequeñas fincas en la región oriental de Paraguay. Asunción.BID 2011. "Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgos". Paraguay. Programa para América Latina y Caribe. Notas técnicas: IDB-TN-169.
- Brooks, R. H. and A. H. Corey1988. "Hydraulic Properties of Porous Media".*Hydrol. Pap. Colorado State University*. 3.
- Bras, R. F. 1990: "Hydrology, an introduction to hydrologic science". Addison-Wesley.
- Campos Paraguay 2017. Mapa de Temperatura de Paraguay.
<http://www.camposparaguay.com.py/es/gfx/mapas/paraguay-mapa-temperatura-big.gif>. Ultimo acceso: 4 de agosto 2017.
- Céspedes, R. L. and L. S. Ríos 1985: "Análisis del impacto de las inundaciones en el Paraguay".
- Cherkauer, K.A. and D. P. Lettenmaier. 1999. "Hydrologic effects of frozen soils in the upper Mississippi River basin". *Journal Geophysical Research*. 104. 19. 599-19. 610.
- Cherkauer, K.A., L. C. Bowling, and D. P. Lettenmaier. 2003: "Variable infiltration capacity cold land process model update". *Global and Planetary Change*. 38. pp 151-159.
- Clarín 2005. *Un riquísimo yacimiento bajo la tierra*.
<http://edant.clarin.com/diario/2005/09/25/thumb/info24.jpg>.
- Columbia University 2018. Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC).
<http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/gpw-v3>.
- Dartmouth Flood Observatory 2017. <https://www.dartmouth.edu/~floods/>.
- DESINVENTAR 2018. <https://www.desinventar.org/>. Ultimo acceso: 6 de Agosto 2017.

DGEEC 2002. *Censo Nacional de Población y Viviendas*. <http://www.dgeec.gov.py/>.

Dickinson, R.E., A. Henderson-Sellers, P. J. Kennedy and M. F. Wilson 1986. "Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) for the NCAR Community Climate Model. *NCAR Technical Note*. TN-275 +STR.

Domecq, R.M., A. Perito., L. Chamorro, J. L. Ávila and J. Báez. (2005): "Paraguay" (capítulo 7). Páginas 325-378. http://www.agua.org.py/images/stories/biblioteca/humedales/roger-monte-domecq_paraguay.pdf.

EM-DAT 2017. <http://www.emdat.be/>. Ultimo acceso: 3 de Agosto de 2017.

FAO 2016. AQUASTAT Main Database, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Global Water Information System. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>.

FEMA 1997. Hazus-MH software application.: *Multi Hazard Identification and Risk Assessment, a Cornerstone of the National Mitigation Strategy*.

Franchini, M. and M. Pacciani 1991. "Comparative-analysis of several conceptual rainfall runoff models". *Journal of Hydrology*. 122(1-4). 161-219.

GADM Maps and Data 2017. <http://gadm.org/>. Ultimo acceso: 3 de Agosto de 2017.

Goniadzki, D. and J. Borús 2009. "Variabilidad climática y Alturas hidrométricas en la cuenca de la Plata. *Hydra*. Volumen 24.

Goniadzki, D., S.M. Carballo and T. Hartmann 2014. "Uso de la información especial para confección de cartografía de vulnerabilidad por inundaciones en la Cuenca de la Plata". (INTA. CyA).

Hallegatte, S., C. Green, R.J. Nicholls and J. Corfee-Morlot 2013. "Future Flood Losses in Major Coastal Cities. *Nature Climate Change*. 3 (9). 802-806.

Huizinga, H. J 2007. 'Flood damage functions for EU member states'. Implemented in the frame- of the contract #382442-F1SC awarded by the European Commission – Joint Research Centre.

HRW. 2017. http://go.hrw.com/atlas/span_map/paraguay.gif. Ultimo acceso: 10 de Agosto de 2017.

IICA 2017. <http://www.iica.int/es/countries/paraguay>. Ultimo acceso: 4 de agosto de 2017.

INFONA 2011. “Mapa de cobertura forestal del Paraguay”.
<http://www.infona.gov.py/index.php/noticias/taller-de-validation-de-mapas-de-cobertura-forestal-y-cambios-para-los-anos-2000-2005-2011-del-sistema-satelital-de-monitoreo-te>.

Junta de Andalucía 2017. “Plan de lucha contra los incendios forestales en Andalucía”.*Plan Infoca*. <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem>.

Kimball, J. S., S. W. Running and R. R. Nemani 1997: “An improved method for estimating surface humidity from daily minimum temperature”.*Agr. Forest Meteorol.* 85. 87-98.

Knight, F.H 1921: Risk. *Uncertainty and Profit*.

Liang, X., D. P. Lettenmaier, E. F. Wood and S.J. Woodand Burges 1994.“A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models”.*Journal of Geophysical Research*. Vol 99, no 14 pp415-428.

Liang, X 1994. “A two layer Variable Infiltration Capacity Land Surface Representation for General Circulation Models”.*Water Resource Series*. TR140. pp 208.

Lipton, M. and M. Ravallion 1995. “Poverty and Policy”. *Behrman. J. and T.N. Srinivasen (eds) Handbook of Development Economics*. Vol. 3B (Amsterdam: Elsevier).

Lohmann, D., R. Nolte-Holube and E. Raschke 1996: “A large-scale horizontal routing model to be coupled to land surface parametrization schemes”.*Tellus*. 48(A). 708-721.

Lohmann, D., E. Raschke. B. Nijssen and D. P. Lettenmaier 1998. “Regional scale hydrology: I. Formulation of the VIC-2L model coupled to a routing model”.*Hydrological Sciences Journal*. 43(1). 131-141.

MAG 2010.”Manual de manejo de bosque nativo en pequeñas fincas”. *Proyecto de Manejo Sostenible de Recursos Naturales (PMRN)*.

MAG 2012. Plan Nacional de Manejo Integrado del Fuego, Paraguay 2012-2016”. *Borrador*.Muñoz, Thelmo 2002.Estado actual de la información sobre arboles fuera del bosque forestal en Paraguay. *Proyecto GCP/RLA/133/EC*. Organización de las

- Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Nijssen, B. N., D.P. Lettenmaier. X. Liang. S.W. Wetzel, and E.F. Wood 1997. "Streamflow simulation for continental-scale river basins". *Water Resour. Res.*, 33(4). 711-724.
- Map Quest 2017. Mapa de Paraguay. http://go.hrw.com/atlas/span_map/paraguay.gif. Ultimo acceso: 10 de agosto 2017.
- Open Street Map 2017. www.openstreetmap.org. Ultimo acceso: 3 de agosto de 2017.
- OXFAM 2012. Atlas de Riesgos de Desastres de la República de Paraguay.
- Paraguay Biodiversidad 2017. <http://www.pybio.org/>. Último acceso: 4 de agosto de 2017.
- Patricio León, C. and R. Salvador Marconi 1999. "La Contabilidad Nacional: Teoría y Métodos". 3^a edición. *Ediciones ABYA-YALA*. Quito. 9978-04-494-9. Schneiderbauer, S. and D. Ehrlich. (2004) "Risk, hazard and people's vulnerability to natural hazards. A review of definitions, concepts and data". European Commission. Joint Research Centre. Luxemburgo. ISBN 92-894-8732-1.
- ReliefWeb 2017. <https://reliefweb.int/>. Ultimo acceso: 3 de agosto de 2017.
- Secretaría de Ambiente de Argentina. "Proyecto de manejo sostenible de los recursos naturales en el Chaco Sudamericano-GTZ". *Cuadernos de contenidos básicos*.
- Secretaría del Ambiente de Paraguay (SEAM) 2003. "*Estrategia nacional y plan de acción de biodiversidad (ENPAB) de Paraguay*".
- Sheffield, J., G. Goteti, F. Wen and E.F. Wood 2004. "A simulated soil moisture based drought analysis for the United States". *Journal of Geophysical Research*. Vol 109. D24108. p19.
- Sheffield, J., G. Goteti and E. F. Wood 2006. "Development of a 50 year high-resolution global dataset of meteorological forcings for land surface modeling". *Journal of Climate*. 19. 3088-3111.
- Sheffield, J. and E.F. Wood 2007. "Characteristics of global and regional drought. 1950-2000: Analysis of soil moisture data from off-line simulations of the terrestrial hydrological cycle". *Journal of Geophysical Research*. Vol 112. D17115. p21.

- Thornton, P. E. and S. W. Running 1999. "An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity, and precipitation". *Agr. Forest Meteorol.* 93. 211-228.
- UNISDR 2016. Asamblea General de las Naciones Unidas. *Informe del grupo de trabajo intergubernamental de expertos de composición abierta sobre los indicadores y la terminología relacionados con la reducción del riesgo de desastres*. https://www.preventionweb.net/files/50683_oiewgreportspanish.pdf.
- UNISDR 2004. Living with Risk: a Global Review of Disaster Reduction Initiatives. *International Strategy for Disaster Reduction*. Geneva. UN Publications.
- UNISDR 2009. UN International Strategy for Disaster Risk Reduction. <https://www.unisdr.org/>.
- UNISDR 2015. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR15). <https://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/home/>.
- US Department of Homeland Security 2017. <https://www.fema.gov/>. Ultimo acceso: 10 de Agosto 2017.
- Wang, A., Lettermaier, D. P. and J. Sheffield 2011. "Soil moisture drought in China 1950-2006". *Journal of Climate*. Vol 24. pp 3257-3271.
- World Bank 2011. The Changing Wealth of Nations: Measuring Sustainable Development in the New Millennium.
- World Bank 2014. World Development Indicators 2014, World Bank, Washington, DC. <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=World-Development-Indicators>.
- WorldPop 2017. <http://www.worldpop.org.uk/>. Ultimo acceso: Agosto 8 2017.
- Yamazaki, D., S. Kanae, H. Kim and T. Oki 2011. "A physically based description of floodplain inundation dynamics in a global river routing model". *Water Resources Research*. Vol 47. W04501
- Yamakaki, D., T. Sato, S. Kanae, Y. Kirabayashi and P.D. Bates 2014c. "Regional flood dynamics in a bifurcating mega delta simulated in a global river model". *Geophysical research letters*. vol41. pp 3127-3135.

Zhao, R.J., Y.L. Zhuang, L.R. Hang, X.R. Liu and Q.S. Zhang 1980. "The Xinanjiang model".
Hydrological Forecasting Proceedings Oxford Symposium. IAHS 129. 351-356.

