

## **PATRONES DE ASENTAMIENTO EN LA INUNDACIÓN PLUVIAL DEL NÚCLEO METROPOLITANO DE UNA CIUDAD AL NORTE DEL PERÚ.**

### **SETTLEMENT PATTERNS IN THE RAIN FLOODING OF THE METROPOLITAN NUCLEOS OF A CITY IN NORTHERN PERÚ.**

Sr. Giancarlo Chapoñan Moyano<sup>1</sup>, Sr. Percy Junior Castro Mejía<sup>2</sup> y Sr. Erik Omar Escalona Aguilar<sup>3</sup>

#### **RESUMEN**

Esta investigación baso su análisis en la construcción del riesgo de inundación pluvial en el ámbito de estudio con el propósito de establecer la relación entre asentamiento e impermeabilización urbana y como la ocupación del suelo y el emplazamiento se involucran en ella. Los resultados muestran que existe una relación inversamente proporcional entre la Densidad de Vivienda (Dviv) y el Índice biótico del suelo (Ibs) demostrando que el asentamiento formal disminuye su permeabilidad a una velocidad 10 veces mayor que la del asentamiento informal.

Palabras Clave: Patrón de asentamiento, impermeabilización urbana, índice biótico del suelo, ocupación del suelo, Inundación pluvial.

#### **ABSTRACT**

This research based its analysis on the construction of the risk of pluvial flooding in the study area with the purpose of establishing the relationship between settlement and urban waterproofing and how the occupation of the land and the location are involved in it. The results show that there is an inversely proportional relationship between Housing Density and the Soil Biotic Index, demonstrating that the formal settlement decreases its permeability at a speed 10 times greater than that of the informal settlement.

Key words: Settlement pattern, urban waterproofing, soil biotic index, land occupation, pluvial flooding.

---

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de San Martín de Porres Filial Norte Chiclayo, Perú

<sup>2</sup> Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería, Ciencia y Tecnología, Universidad Bernardo O'Higgins, Santiago, Chile.

## INTRODUCCIÓN

En el plano holístico, el proceso de urbanización ha mantenido un desfase demográfico basado en la insolencia, dado que la tendencia aglomerativa no ha considerado las condiciones ambientales vitales para un asentamiento idóneo, por ende, elementos como el nivel de cuenca, los suelos salinizados, deforestación y constante pérdida de biodiversidad, además de eventos naturales como sequías, terremotos y lluvias intensas, han contribuido a una congruencia con la vulnerabilidad ambiental (Pirez, 2018).

Desde el abordaje teórico, la urbanización se ha circunscrito como la metamorfosis del medio natural o del suelo de uso rural en un territorio habitable, con la connotación constructiva para mantener una denominación de ciudad. En relación con esta perspectiva, se comprende que la urbanización permite mantener organizado el territorio de un espacio determinado, aprovechando el medio a través de conexiones que permiten asegurar el funcionamiento adecuado (Pinilla, 2023). Desde esta disyuntiva, componentes relacionados los suelos, verbigracia la deforestación, sequías y factores asociados marcan una brecha con la urbanización, dada la amenaza implicada en la proliferación de la naturaleza urbana (Bertuzzi, 2005).

De esta forma, la divergencia entre la propuesta teórica de la urbanización y la praxis han inducido un asentamiento desordenado, generando una exposición a fenómenos que involucran una amenaza a la vida humana, como es el caso de las inundaciones pluviales. Las inundaciones pluviales se definen como “eventos de lluvia de alta densidad y corta duración, que resultan en una rápida saturación de drenaje y que producen inundaciones de unos 30 cm varias veces al año en muchos sectores de las ciudades” (p. 219) (García et al., 2019). Gran parte de estos desbordamientos mantienen una procedencia pluvial, con origen en precipitaciones cortas y fuertes, por lo que en algunos casos ha implicado consecuencias

como daños materiales y víctimas mortales (p.113) (Escuder et al., 2012).

Igualmente, la susceptibilidad física a la lluvia y al sismo ha condicionado el desarrollo de los asentamientos. En el caso de Lambayeque, departamento ubicado en el norte de Perú, tiene un origen situado en la inundación fluvial y en el terremoto de 1828, lo cual ha facultado la creación de ciudades, como el caso de Chiclayo (p.105) (Huertas, 2017). En 1998, se desarrolló un fenómeno conocido como licuación de suelos, dejando 299 viviendas destruidas en Mocce y la evidencia del peligro al que está expuesta toda la metrópoli. También, se precisa que “orientar la ciudad hacia la resiliencia demanda la aplicación de mapeos multirriesgo” (p.409).<sup>6</sup> El mapeo territorial nos muestra un posible peligro de inundación fluvial por incremento extraordinario del Río Reque construyendo un escenario de inundación compuesta. Dada esta realidad, se afirma que “las inundaciones compuestas pueden ocurrir también cuando una sola fuente de inundación cuando es extrema” (p.3136) (Hendry et al., 2019). Las fuertes lluvias de 1925, 1983 y 1998 generaron grandes aniegos por alteración de los procesos hidrológicos del suelo, por ello, se afirma que “las propiedades hidrológicas pueden variar a escalas más pequeñas” (p.2) (Ossola et al., 2015). Estas propiedades están condicionadas por las superficies impermeables que han cubierto el paisaje y alterado el ecosistema preexistente generando zonas de aniego o islas de lluvia. Por ende, se afirma que “estudiar el efecto de isla de lluvia causados por la urbanización en los procesos hidrológicos urbanos nos permitirá manejar el impacto urbano” (p.324) (Fang et al., 2021), siendo un análisis destacable a escala barrial y a escala metropolitana en consideración al grado de amenaza que representa en el ámbito comunitario.

De esta forma, entre los factores que condicionan la aparición de licuación de suelos se subraya la ocurrencia de sismos, la intensidad que varía entre la distancia epicentral y el tiempo de duración - y la

densidad, dado que “los suelos más susceptibles a la licuación son los finos, no cohesivos, de estructura suelta y saturados” (p.613) (Badillo y Rodríguez, 2004). Igualmente, la granulometría fomenta la aparición de la licuación de suelos, puesto que, “las arenas son más susceptibles a la licuación cuanto más finas y uniformes”(p.154) (Asociación costarricense de geotecnia, 2004).

Un criterio geológico para considerar son los suelos que resultan de la sedimentación de ríos y que estos a su vez son resultados de los depósitos fluviales, este acontecimiento hace que las partículas se separan por tamaño ocasionando depósitos de partículas de baja consistencia y que estas a su vez se compactan con los movimientos sísmicos (p.154) (Asociación costarricense de geotecnia, 2004). Por otro lado, la relación entre los estilos fluviales y los fenómenos de crecidas no son claros, sin embargo, una de las principales características a evaluar son las crecidas y los efectos que estas pueden producir (p.196) (Vinet, 2020). Además, hay estudios realizados que indican a sospechar que “los sismos que causan más daño a presas tienen mayores periodos (menores frecuencias) que los que causan la máxima destrucción en edificios” (p. 613) (Badillo y Rodríguez, 2004).

Se afirma que “Durante miles de años las poblaciones en las regiones áridas se han soportado en el ciclo hidrológico” (p.34) (Edmunds, 2021), los asentamientos prehispánicos habitaron el desierto gracias al Patrones de asentamiento en la inundación pluvial del núcleo metropolitano de una ciudad al norte del Perú. Chapoñan, Castro y Escalona 37 conocimiento y manejo del acuífero mediante infraestructuras ambientales en donde las áreas productivas son reflejo de la vocación natural del suelo. Respecto a las infraestructuras, la literatura nos muestra “la red de mando al inicio de un monopolio para la gestión sanitaria” (p.9) (Ramos y Rosado, 2015) toda red para el manejo territorial demanda de control que luego con el nuevo modelo de organización hispánico incorporará una reducción en el antiguo territorio, la cual evolucionará en el actual núcleo metropolitano. En torno a las premisas presentadas, este estudio tuvo como objetivo establecer la relación entre asentamiento e impermeabilidad urbana y

como la ocupación del suelo y el emplazamiento se involucra en ella.

Respecto a la relevancia de la investigación, determina un aporte práctico, puesto que faculta la prevención de las repercusiones por inundación pluvial y la estimación del riesgo asociado al fenómeno en cuestión en zonas vulnerables (Lompi et al., 2022), asimismo, se demarca un aporte teórico dado que motiva el análisis de los factores asociados a los patrones de asentamiento por inundación pluvial circunscrito a investigaciones futuras, lo que coadyuva una previsión de la acción (Nicklin et al., 2019); de igual forma, involucra un aporte social, ya que se enfoca a la estimación de elementos que permiten el control de las consecuencias por inundación pluvial en territorio peruano, en torno a la promoción de políticas públicas y reducción del índice de vulnerabilidad (Zambrano and Ramos, 2021). Del mismo modo, este artículo es y seguirá siendo importante cuando se publique porque nos da a conocer la necesidad del proceso de urbanización, puesto que exige repensar los lineamientos de construcción paramétricos del ambiente edificado a partir del cuestionamiento del posicionamiento y materialidad de la urbanización con fines de adaptación pluvial y a la pérdida de condiciones del suelo en el intento por habitar en una ciudad al norte del Perú, así como las categorías sociales que subrayan la situación de riesgo basada en el riesgo de inundación pluvial.

## ÁREA DE ESTUDIO

¿Cuáles son los elementos sociales asociados al riesgo de inundación pluvial?

En el marco de factores societarios que influyen en el afrontamiento al peligro de inundación pluvial, la densidad poblacional se circunscribe como un elemento importante en la medición del riesgo, dado que la falta de organización estructural aunado a una explosión demográfica converge en un desfase relativo de la cantidad de población por cada unidad de superficie, lo cual subraya una vulnerabilidad asentada en el desorden espacial (Montenegro et al., 2021). Esta condición antrópica se asienta en condiciones exógenas de precariedad, limitaciones en el acceso a servicios básicos, procesos de desplazamiento urbano basados en la

periferización gentrificada y el alejamiento identitario de la capacidad institucional del Estado, lo que prioriza el rol de la sociedad en la construcción material del riesgo (Campos y Fuentes, 2019). De igual forma, la instalación en zonas no habitables y el uso de infraestructuras de baja calidad ha generado relevancia en la condición del riesgo territorial frente a fenómenos naturales (Hernández y Álvarez – Palau, 2021).

¿Cómo perdió permeabilidad el suelo urbano?  
¿Cómo se muestra la impermeabilidad urbana?

La Impermeabilización Urbana es un problema antrópico de las ciudades, su atracción y explosión demográfica incitan la observación del proceso y sus efectos, como el peligro de inundación al respecto, se afirma que “el peligro de inundación impacta en los hogares pobres, aumentando la susceptibilidad a la carencia” (p.6) (Akther y Ahmad, 2022). La estigmatización territorial, producto del mapeo de peligros y de riesgo; podrían ser enemigos del empoderamiento grupal frente al evento. Por otro lado, también debemos poner atención en la tolerancia a la inundación al interior del núcleo metropolitano. Al respecto, se afirma que “Un grupo exitoso puede ser intolerante con la aparición repentina de un evento natural extremo” (p.593) (Ahmed et al., 2018). El grado de tolerancia del peligro de inundación pluvial se vincula al estatus socioeconómico que influye en la capacidad de adaptación y resiliencia de la población urbana y justificaría la carencia de políticas territoriales que aborden la hidrología urbana al respecto, se afirma que “las modificaciones en la escorrentía superficial urbana se dan por cambios de coberturas y revela la necesidad de sistemas integrales de drenaje pluvial” (p.26) (Jian et al., 2021). Una evaluación integral del peligro de inundación pluvial en Chiclayo debe asociar los eventos recurrentes como sismos y lluvias intensas con las acciones antrópicas como las zonas de aniego que han incrementado conforme el área urbana se ha consolidado. Se afirma que “La gobernanza de la inundación pluvial urbana ha evolucionado de la construcción de sistemas de drenaje y control a la ciudad esponja” (p.14) (Kong et al., 2021). Demostrar la conexión ocupación - permeabilidad del suelo, evidenciara que la condición antrópica del peligro de inundación pluvial en Chiclayo ha

sido construida progresivamente en el tiempo y demanda de una gestión territorial que le permita adaptarse a su condición inundable.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación es de naturaleza cuantitativa y de corte experimental en donde el método propuesto busca informar respecto a la construcción del peligro de inundación pluvial en los ámbitos de estudio analizados. Pauteada por la ecología urbana; compara entre ellos los resultados alcanzados para el intervalo 2007- 2022. Para ello se georeferenció un grupo de mapas e imágenes satelitales con la finalidad de construir una matriz estadística que facilite el estudio de las superficies y sus modificaciones a través de programas de análisis geográfico. Por ello, se afirma que “La expansión determinada a través de Google Earth destacó tendencias más rápidas y opuestas a las ofrecidas por los conjuntos de datos globales” (p.10) (Tiepolo y Galligari, 2021).

También, se elaboró un catastro de coberturas del suelo en el cual se digitalizó, clasificó y categorizó las superficies en los ámbitos de análisis haciendo posible establecer en el tiempo la (Dviv) y el (lbs) así como la escorrentía. Con relación a esto, se afirma que digitalizar la superficie es esencial para desarrollar un modelo de sistema de drenaje para el análisis de inundaciones pluviales (Ojeda y Villar, 2023). Se digitalizó la superficie para estimar la escorrentía superficial del núcleo metropolitano. Se estableció la relación entre variables sometiendo los valores obtenidos al método de regresión lineal simple. Los valores (lbs) permitieron evaluar el desempeño de la impermeabilización del suelo como resultado de modificaciones en la superficie y la (Dviv) reveló la presión que impregna en él. La comparación estadística de los resultados ecológicos alcanzados hará posible la afirmación o negación de la existencia de relación entre el suelo y la edificación, de la misma forma permitirá establecer la influencia en el tiempo del asentamiento en la permeabilidad. Al respecto, se afirma que “la estimación de la erosividad pluvial es de gran importancia para la comprensión de la vulnerabilidad climática de una región

determinada” (p.677) (Lukic et al., 2019). Por ello el reconocimiento del impacto pluvial en la modificación del suelo demandó observación de campo para lo cual se elaboró un cuestionario diseñado a partir de lo establecido por CENEPRED con el objetivo de reconocer el vínculo entre la producción del ambiente edificado y el peligro de inundación, hurgando en la experiencia de quienes viven en zonas de aniegos como los sectores de estudio (informal – formal). La muestra poblacional corresponde al núcleo, ya que en él se ha reconocido la mayor concentración de aniegos urbanos generados a consecuencia del Fenómeno del Niño Costero. El análisis del peligro de inundación pluvial en el núcleo metropolitano muestra un alto peligro de inundación pluvial hacia el oeste. Ambos casos de estudio se ubican al sur oeste del núcleo, en un área que presenta vías y acequias que acentúan el riesgo con el que convienen los asentamientos. Los criterios de selección se complementan con la naturaleza del asentamiento. La cercanía entre lo formal y lo informal, ha sido determinante.

Los sectores de estudio se muestran en la Figura 1.

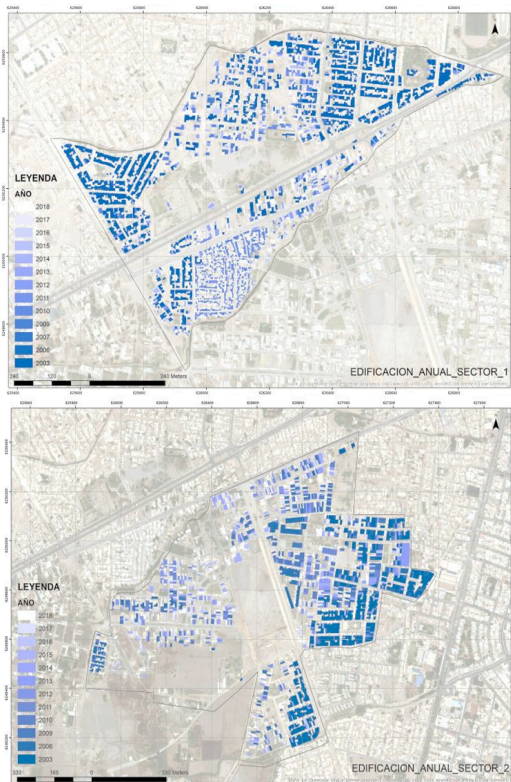
Figura 1. Sector 1 Asentamiento informal y sector 2 asentamiento formal. Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados obtenidos del mapeo de edificación por años realizado para ambos sectores en estudio (informal y formal) como parte del catastro de coberturas que se elaboró para estimar la capacidad biótica del suelo diferenciando la producción de superficies permeables, semi permeables o impermeables. Este proceso de desarrollo a partir de imágenes satelitales proporcionadas por Google Earth para un periodo de 15 años que fueron georreferenciadas y procesadas en primer lugar por software de dibujo como AutoCAD y en segundo lugar por software de análisis como los Sistemas de Información Geográfica (GIS).

## RESULTADOS

El patrón de asentamiento condiciona el sellado del suelo y por ende a la impermeabilidad urbana asociándose al peligro de inundación pluvial en el momento en el que la densidad de vivienda revele la pérdida de dispersión y la condición biótica del suelo muestre el incremento de la impermeabilidad.

Los resultados de la comparación estadística se muestran en la figura 2.



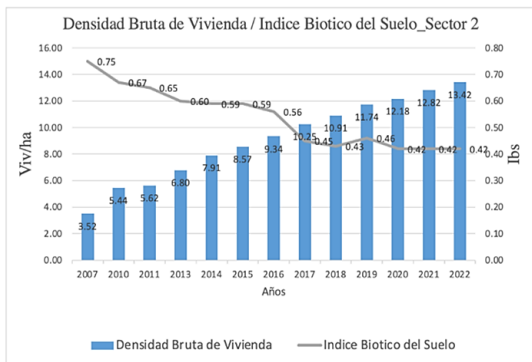
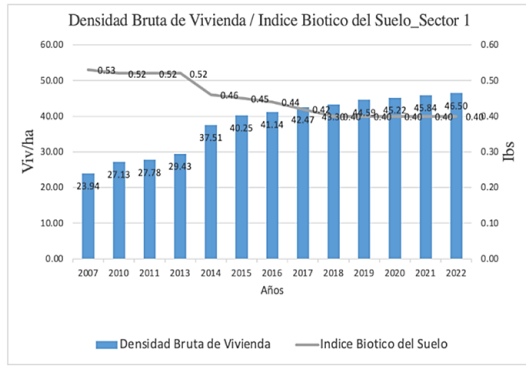


Figura 2. Soil Biotic Index (lbs) vs. Gross Housing Density (Dbv). Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados obtenidos para ambos sectores en estudio (informal y formal) y se comparan estadísticamente entre ellos. La línea continua y decreciente muestra la disminución del Índice Biótico del Suelo frente al incremento progresivo de la Densidad Bruta de Vivienda que se representa a modo de barras y se sintetiza con líneas incremental punteada.

La investigación tuvo como objetivo, establecer la relación entre asentamiento e impermeabilidad urbana frente al peligro de inundación pluvial en el núcleo metropolitano. La Tabla 1 muestra los valores obtenidos frente a los requerimientos mínimos establecidos por los indicadores, los cuales informan para el 2017 respecto a la (Dviv) que los asentamientos son dispersos y contribuyen inicialmente con un importante (lbs) de 0.53 y 0.75 asociado a la permeabilidad y comunidades edáficas. En torno a la relación entre la vegetación y el uso del suelo, elementos como la temperatura y la precipitación han coadyuvado transformaciones en la distribución vegetal y el estatus de sus propiedades. Esta

distribución de la cobertura vegetal nos informa sobre los roles que desempeña la superficie en el proceso de evapotranspiración de la corteza al respecto.<sup>28</sup> dado que esta no muestra una costa micro biótica, siendo asociada a niveles bajos de materia orgánica; por ende, demarca la pérdida de permeabilidad (Jofré, 2020). Asimismo; en ambos casos el lbs. Inicia su descenso en la medida que los tejidos se compactan como producto del incremento en la Dviv, mostrando para el 2022, valores de 0.40 y 0.42 lbs demostrando así que la aglomeración compacta de superficies impermeables acentúa el sellado del suelo y aporta al proceso de impermeabilización. De esta forma, los cambios en el manejo y cobertura del suelo han generado un incremento de la escorrentía superficial, facultando una precipitación sin involucrar un proceso de infiltración. Por lo tanto, la impermeabilización del suelo urbano se intensifica con el asentamiento compacto (Pinilla, 2023).

La Tabla 1 muestra los resultados alcanzados para ambos sectores en estudio y se comparan con los valores mínimos requeridos por los indicadores del índice biótico del suelo y de la densidad bruta de la vivienda.

Años	Requerimientos mínimos		Resultado alcanzado			
	Densidad Bruta de Vivienda	Índice Biotico del Suelo	Sector 1		Sector 2	
			Asentamiento informal	Asentamiento formal	Asentamiento informal	Asentamiento formal
	Viv/ha	Ibs	Viv/ha	Ibs	Viv/ha	Ibs
2007	80-100	>0.30	23.94	0.53	3.52	0.75
2010	80-100	>0.30	27.13	0.52	5.44	0.67
2011	80-100	>0.30	27.78	0.52	5.62	0.65
2013	80-100	>0.30	29.43	0.52	6.80	0.60
2014	80-100	>0.30	37.51	0.46	7.91	0.59
2015	80-100	>0.30	40.25	0.45	8.57	0.59
2016	80-100	>0.30	41.34	0.44	9.34	0.56
2017	80-100	>0.30	42.47	0.42	10.25	0.45
2018	80-100	>0.30	43.30	0.40	10.91	0.43
2019	80-100	>0.30	43.30	0.40	11.74	0.46
2020	80-100	>0.30	45.22	0.40	12.18	0.42
2021	80-100	>0.30	45.84	0.40	12.82	0.42
2022	80-100	>0.30	46.50	0.40	13.42	0.42

Tabla 1. Resultados obtenidos frente a los requisitos mínimos. Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera, se circunscribe la existencia de dispersión en la nucleación, puesto que se subraya en este enfoque un sincretismo entre la forma social y la unidad territorial, cuyo asentamiento converge en la integración al paisaje y otorga un soporte a la urbanidad y resiliencia comunitaria.<sup>31</sup> Por consiguiente, la condición dispersa del asentamiento informal es un mecanismo frente a la inundación urbana al respecto, tomando en consideración que las ciudades con riesgo de inundación no mantienen una

dirección al equilibrio preexistente( p.2577) (Francipane et al., 2021). Lo disperso como estrategia de adaptación a la inundación y la falta de procedimientos técnicos – jurídicos, que permitan orientar la ocupación informal; acentúa la relación espontánea – desgobierno. En torno a esta disyuntiva, se destaca la autoorganización como motivación de lo difuso, siendo una repercusión directa del bajo alcance institucional en la gestión del riesgo y de la implementación de políticas públicas, siendo negativo en la convergencia entre lo disperso y lo informal (López y Etulain, 2021). Sin embargo, existen otros abordajes que integran una visión más panorámica de lo urbano desde lo multiescalar (p.61) (Cuervo, 2017). En la macro escala, la dispersión estructura a la arquitectura, el paisaje y el territorio, es decir al medio ambiente, potencia lo rural equilibrando su relación con lo urbano y devolviéndole al campo su rol ecosistémico. En efecto, se enfatiza la recuperación de la estructura y función ecosistémica desde una aplicación balanceada (p.107) (López et al., 2017). En la micro escala, la estructura dispersa del asentamiento informal vincula el Genius Loci y la necesidad de espacios para vivir de un determinado grupo poblacional en el lugar, lo que demarca que el carácter habitable de los espacios está vinculado al esqueleto urbano y a la inserción societal.<sup>36</sup> De esta manera la relación vernacular entre dispersión y el lugar se extrapola a la macro escala en donde regula la continuidad de los procesos hidrológicos del suelo urbano de manera espontánea e insostenible por falta de mecanismos ecológicos; por otra parte, en referencia a los mecanismos municipales, los cambios tributarios para la reducción de la retención natural promueven el aumento de número de propiedades contribuyentes. En suma, se destaca que la regulación metropolitana de los procesos hidrológicos debería ser uno de los objetivos de solidaridad territorial fomentados por los gobiernos locales (Godyb et al., 2022).

Resultados de la estimación proyectada se comprende que la ocupación del suelo participa activamente en el proceso de impermeabilidad urbana, la estimación proyectada para el periodo 2023-2032 revela una relación inversa entre el (lbs) y la (Dviv) que se muestran en la Tabla 2 que representa los resultados alcanzados para ambos sectores en estudio y se comparan con los

valores mínimos requeridos por los indicadores del índice biótico del suelo y de la densidad bruta de vivienda.

Sector 1 Informal			Sector 2 Formal		
Año	Densidad(Viv./ha)	lbs	Año	Densidad(Viv./ha)	lbs
2023	50.79	0.37	2023	14.21	0.36
2024	52.51	0.35	2024	14.9	0.34
2025	54.23	0.34	2025	15.59	0.32
2026	55.95	0.33	2026	16.28	0.29
2027	57.67	0.32	2027	16.97	0.27
2028	59.39	0.31	2028	17.66	0.25
2029	61.11	0.30	2029	18.35	0.22
2030	62.83	0.28	2030	19.04	0.2
2031	64.55	0.27	2031	19.73	0.17
2032	66.27	0.26	2032	20.42	0.15

Tabla 2. Estimaciones proyectadas del índice biótico del suelo y la densidad bruta de viviendas. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos demuestran que el crecimiento poblacional se ha circunscrito como un condicionante de la infiltración pluvial; de igual forma, involucra un impacto en la recarga del acuífero (p.21); por lo tanto, la ocupación del suelo propicia la impermeabilidad urbana si la aglomeración de viviendas recorta la infiltración y sella el suelo restándole propiedades a este organismo (Carrertero y Kruse, 2014). En la misma línea, el incremento de la impermeabilidad en suelos ha encauzado el aumento del volumen y la velocidad de escorrentía (p.45) (Masís y Vargas, 2014). De lo anterior se puede decir que la regulación de la ocupación del suelo a corto plazo es determinante en el manejo de la permeabilidad urbana de la metrópoli en construcción y para lo cual debemos definir hacia qué modelo de ciudad queremos ir. En relación con el asentamiento compacto, una ciudad con esta característica se define como un elemento basado en el imaginario urbano, como producto de la convergencia entre la multiplicidad de usos y la promoción de la sostenibilidad; no obstante, suele situarse como una propuesta dogmática ante las diferentes perspectivas de la multidisciplinariedad (Gallegos, 2016).

Los resultados obtenidos del análisis en los sectores 1 y 2 muestran la conexión entre el peligro de inundación y la velocidad de impermeabilización en ambos sectores (25.03 mts<sup>2</sup>/día y 224.63 mts<sup>2</sup>/día) como se puede apreciar en la Tabla 3, que muestra los resultados alcanzados respecto a la velocidad de impermeabilización con la que ambos sectores en estudio se desempeñan.

Año	Sector 1						Sector 2					
	Edificación		Pavimento		Velocidad de impermeabilización		Edificación		Pavimento		Velocidad de impermeabilización	
	H/a	%	H/a	%	H/a/año	Mts <sup>2</sup> /día	H/a	%	H/a	%	H/a/año	Mts <sup>2</sup> /día
2007	6.97	11.94			0.36	9.84	10.66	6.30	1.04	1.01		
2010	7.95	13.81			0.26	7.10	12.20	2.15	3.69	100.99		
2011	8.21	14.25			0.32	8.66	13.10	12.71	7.77	7.54	8.67	237.66
2013	8.84	15.33			2.60	71.26	14.36	13.93	8.80	8.53	10.06	275.55
2014	10.39	17.99	1.06	1.83	1.78	48.74	15.43	14.95	9.62	9.32	10.69	292.91
2015	11.11	19.24	1.06	1.83	1.86	28.99	16.53	15.99	11.61	11.24	12.71	348.27
2016	11.11	19.24	1.06	1.83	4.34	118.91	18.14	17.53	11.61	11.22	13.22	362.21
2017	11.80	20.41	3.65	6.31	3.92	107.38	19.13	18.44	14.40	13.88	15.40	421.92
2018	12.08	20.88	3.65	6.30	4.09	111.56	14.01	13.46	14.40	13.84	9.28	254.23
2019	12.52	21.64	3.65	6.30	3.90	106.86	21.15	20.33	14.40	13.84	21.55	590.29
2020	12.77	22.07	3.65	6.30	3.88	106.28	22.04	21.18	14.40	13.84	15.29	418.89
2021	13.01	22.47	3.65	6.30	3.95	108.32	22.04	21.16	15.33	14.72	15.33	419.94
2022	13.31	22.99	3.65	6.30	0.91	25.03			media armonica	8.20	224.63	

Tabla 3. Velocidad de impermeabilización en los sectores de análisis. Fuente: Elaboración propia.

La habilitación urbana desecha el potencial del paisaje nativo y busca impermeabilizarlo con la finalidad de superar, aunque temporalmente; su condición inundable. En los resultados obtenidos, se demuestra la tendencia de la urbanización con un índice alto de impermeabilización, lo cual ha encauzado el escurrimiento superficial; asimismo, el emplazamiento formal en áreas con riesgo de inundación ha contribuido en la impermeabilización a través de la aceleración del sellado del suelo, dada la vulnerabilidad del asentamiento informal (Ortíz, 2020). Por ende, este incremento ha facultado un paisaje de superficie concreta en suelos que en algún momento fueron permeables (p.1082) (Owuor et al., 2022). Este paisaje del concreto y el asfalto que caracteriza a la habilitación urbana desconfigura el relieve natural de la superficie perdiendo así las condiciones naturales del lugar anteriores a la ciudad formal que eran favorables al drenaje. Por otro lado, la sobrepoblación industrial ha motivado un proceso urbanizador sin planificación, reflejados en espacios no habitables basados en el hacinamiento, siendo un elemento de presión sobre el medio rural (Martínez, 2020). Esta presión de lo informal sobre áreas no urbanizables y la propia del proceso formal se están confabulando en la construcción del peligro de inundación pluvial, lo que subraya la necesidad de una planificación urbana que tome en consideración los procesos de zonas inundables (p.275) y de esta manera mediante el manejo de patrones se gradúe la intensidad del uso del suelo.44 Igualmente, se destaca el requerimiento de una sinergia entre la implementación de políticas públicas, planificación territorial y estimación del impacto ambiental (p.91) (Saavedra y Perevochtchikoba, 2017). Esta es la dimensión del urbanismo ecológico y demanda de la redefinición de lo público y lo privado, de lo formal y de lo informal, así como de mayor preocupación gubernamental. Por

consecuente, la preocupación por los procesos de urbanización y su alineación con la sostenibilidad territorial, ambiental y social se ha posicionado como un tema relevante en el ámbito público (p.75) Esferas públicas de diferentes escalas manejadas por organismos como ONU-Habitad, CEPAL o el BID (Urriza, 2009).

## CONCLUSIONES

Los patrones de asentamiento supeditan la permeabilidad del suelo mediante la ocupación del sitio, intervienen en la impermeabilidad urbana y se asocian a la inundación pluvial impactando de forma directa en la saturación y materialidad de las superficies, influyendo en el ciclo hidrológico al limitar la infiltración pluvial.

Se determinó una importante correlación entre la dispersión y la infiltración pluvial permitiendo la continuidad del ciclo hidrológico y regulando la saturación de coberturas impermeables al mostrar un alto valor biótico del suelo.

El asentamiento compacto promueve la concentración de superficies impermeables e interrumpe la infiltración pluvial con lo cual intensifica la alteración del ciclo hidrológico del agua presentando un suelo con baja capacidad biótica. e.g., Entre la (Dviv) y el (lbs) se muestra una relación inversa, en la medida que incrementa el número de viviendas por hectárea el suelo de los sectores en estudio será sellado y la capacidad biótica del suelo decaerá como señal de impermeabilización.

Se ha reconocido, entre el peligro de inundación pluvial y la velocidad de impermeabilización del suelo, una relación directa en donde la urbanización formal muestra que la velocidad con la que se impermeabiliza es diez veces mayor que la informal, difícilmente manejable por los gobiernos locales dada la falta de capacidades técnicas.

Esta demanda de sostenibilidad en el proceso de urbanización exige repensar los lineamientos de construcción paramétricos del ambiente edificado a partir del cuestionamiento respecto al posicionamiento y materialidad de la urbanización con fines de



adaptación pluvial y a la pérdida de condiciones del suelo en el intento por habitar.

En relación con las limitaciones y sugerencias para futuras investigaciones, la primera limitación del estudio es su escasez es el tiempo en que se desarrolló, al ser un fenómeno ocasional no es de suceso diario. Recomendamos a futuros investigadores replicar el estudio en otros lugares del mundo, y en cortes de tiempo mayores, en zonas con mayor afectación al problema.

Como sabemos este tema no es muy estudiado por los académicos nosotros daremos un paso al estudiar los patrones de asentamiento, la impermeabilidad urbana frente al peligro de inundación pluvial en el núcleo metropolitano de un lugar en la zona norte del Perú, sugerimos a los futuros académicos estudiar las variables de manera independiente o relacionarlas con otras de mayor impacto. Por último, sugerimos a los investigadores no desanimarse en el desarrollo de la temática puesto que con el calentamiento global que año tras año se acentúa cada vez más, tendrá mayor repercusión en los lugares predispuestos a su afectación por lo cual dar a conocer resultados de este estudio en diferentes partes del mundo es suma importancia.

## REFERENCIAS

PEDRO PIREZ, "Distribución, insolvencia y urbanización popular en América Latina," Revista de Geografía Espacios 8, no. 15, (2018): 67–93. <https://doi.org/10.25074/07197209.15.1034>.

MARÍA BERTUZZI, Ciudad y urbanización: problemas y potencialidades. Argentina: Universidad Nacional del Litoral, 2005.

EDUARDO GARCÍA, GINES SUAREZ, MARICARMEN ESQUIVEL, AVELINA RUÍZ, DANIELA ZULOAGA and OPHELIE CHEVALIER, Bases generales para el desarrollo de estudios de reducción de riesgos hidrológicos en ciudades: Lecciones aprendidas de la iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles ante el reto del cambio climático en Latinoamérica y el Caribe. InterAmerican Development Bank, 2019.

IGNACIO ESCUDER, Enrique MATHEU, LUIS ALTAREJOS-GARCÍA and JESICA CASTILLORODRÍGUEZ, Risk analysis, Dam safety, Dam Security and Critical Infrastructure Management. Londres: Taylor and Francis Group, 2012.

LORENZO HUERTAS, "Formación del espacio social en el departamento de Lambayeque," Patrimonio, Identidad y Memoria (2017): 83–117.

JULIO KUROIWA, "Perú sustainable (resilient) cities programme 1998-2012. Its application 2014 – 2021," Procedia Economics and Finance 18 (2014): 408–415. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00957-5](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00957-5).

ALISTAIR HENDRY, IVAN HAIGH, ROBERT NICHOLLS, HUGO WINTER, ROBERT NEAL, THOMAS WAHL, AMÉLIE JOLY and STEPHEN DARBY, "Assesing the characteristics and drivers of compound flooding. Hydrology and Earth System Sciences," Hydrology and Earth System Sciences 23 (2019): 3117–3139. <https://doi.org/10.5194/hess-23-3117-2019>.

ALESSANDRO OSSOLA, AMY HAHS and STEPHEN LIESLEY, "Habitat complexity influences fine scale hydrological processes and the incidence of stormwater runoff in managed urban ecosystems," Revista de Gestión Ambiental 159(2015):1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.05.002>.

JIA FANG, JIE YIN, XIAN SHI, JIAN FANG, SHI D and MIN LIU, "A review of compound flood hazard research in coastal areas," Advances in Climate Change Research 17, no. 3, (2021): 317–328. <https://doi.org/10.12006/j.issn.1673-1719.2020.210>.

JUÁREZ BADILLO and RICO RODRÍGUEZ. Mecánica de suelos. México:Editorial Limusa, 2004.

ASOCIACIÓN COSTARRICENSE DE GEOTECNIA. Código de cimentaciones de Costa Rica. Costa Rica: Editorial tecnológica de Costa Rica, 2004.

FREDDY VINET. Inundaciones I: Conocimiento del riesgo. Reino Unido: ISTE Science Publishing, 2020.

M. EDMUNDS, "Renewable and non-renewable groundwater in semi-arid and arid regions," *Developments in Water Science* (2021): 267–280 DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511760280.004>.

JOSÉ RAMOS and ANA ROSADO, "Ideas económicas en torno al servicio de abastecimiento urbano de agua en la Gran Bretaña del siglo XIX," *Investigaciones de Historia Económica-Economic History Research* 11 (2015): 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ihe.2013.09.001>.

MARCO LOMPI, PAOLO TAMAGNONE, TOMMASO PACETTI, RENATO MORBIDELLI and ENRICA CAPORALI, "Impacts of Rainfall Data Aggregation Time on Pluvial Flood Hazard in Urban Watersheds," *Water (Switzerland)* 14, no. 4, (2022): 1–13. <http://doi.org/10.3390/w14040544>.

HARRY NICKLIN, ANNE LEICHER, CAREL DIEPERINK and KEES VAN, "Understanding the costs of inaction-An assessment of pluvial flood damages in two European cities," *Water (Switzerland)* 11, no. 4, (2019): 1–18. <http://doi.org/10.3390/w11040801>.

MICHAEL ZAMBRANO and LÍDER RAMOS, "Las capacidades sociales en las familias de la zona urbana del cantón Chone frente a la vulnerabilidad física ante la amenaza de inundaciones.," *ReHuSo: Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales* 6, no. 3, (2021): 85–97. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5512975>.

MARISA MONTENEGRO, JUAN BURLA, JULIANA SOCRATE and ALBERTO SUÁREZ, "Mapa de Riesgo a Inundaciones para el sector norte del Ejido Urbano de la ciudad de Mar del Plata," *Revista Geográfica Digital* 18, no. 36, (2021):1–17 <http://doi.org/10.30972/geo.18364592>.

MIAGROS CAMPOS, MARÍA FUENTES, "Análisis socio-espacial de riesgo de inundación y sus implicaciones en las personas mayores: caso de estudio Naucalpan Estado de México," *Proyección*

estudios geográficos y de ordenamiento territorial 13, no. 26, (2019): 60–86.

MIREIA HERNÁNDEZ and EDUARD ÁLVAREZPALAU, "Urbanización, ocupación del suelo e infraestructura de soporte," *Oikonomics*, no. 16, (2021): 1–9.

HASINA AKTHER and MOKBUL AHMAD, "Livelihood in the pluvial flood prone slum communities in Dhaka, Bangladesh," *Progress in Disaster Science* 14 (2022) <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2022.100227>.

FARHANA AHMED, M ALAM, JEROEN WARNER, EDDY MOORS and CATHARINE TERWISHHCHA, "Integrate Adaptation Tipping Points (IATPs) for urban flood resilience," *Environment & Urbanization* 30, no. 2, (2018): 575- 596. <https://doi.org/10.1177/0956247818776510>.

WEI JIAN, SHANSHAN LI, CHENGGUANG LI, ZHAOLI WANG, XIANGIU CHEN, EDMOND YAT and TSO PAN, "Evaluating pluvial flood hazard for highly urbanised cities: a case study of the Pearl River Delta Region in China," *Natural Hazards* 105 (2021): 1691-1719. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04372-3>.

FENG KONG, SHAO SUN and YIFEI WANG, "Comprehensive Understanding the DisasterCausing Mechanism, Governance Dilemma and Targeted Countermeasures of Urban Pluvial Flooding in China," *Water* (2021): 1762. <https://doi.org/10.3390/w13131762>.

MAURICIO TIEPOLO and ANDREA GALLIGARI, "Urban expansion-flood damage nexus: Evidence from the Dosso Region, Niger," *Land Use Policy* (2021) <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105547>.

OJEDA, JOSÉ y VILLAR, ARSENIO. "Evolución del suelo urbano/alterado en el litoral de Andalucía (España):1998-2022". *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información geográfica* N° 7, 73-99. 20/03/2023 <https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/articel/view/112/274>.

TIN LUKIC , ACO LUKIC , BILIANA B , TANJA MICIC PONJIGER, DRAGANA BLAGOJEVIC , MINCER MESAROS , MISKO MILANOVIC , MILIVOJ GAVRILOV , DRAGOSLAY PAVIC , MATJA ZORN , BLAZ KOMAC , ĐURDA MILJOVIC , DUSAN SAKULSKY, SNEZANA BABIC-KEKEZ , CEZAR MORAR and SAVA JANICEVIC, "Rainfall erosivity and extreme precipitation in the Pannonian basin," *Open Geosciences* 11 (2019): 664-681. <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0053>.

RAMÍREZ-SANTIAGO, ROSARIO, CLARCKTAPIA, RICARDO, FERNÁNDEZ-LOMELIN, MARÍA, OROPEZA-OROZCO, ORALIA y CRAMHEYDRICH, SILKE. 2022. "Principales elementos de la geodiversidad que influyen en la vegetación leñosa del Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta, Oaxaca". *Revista Mexicana de Biodiversidad* 93: 1- 19. 23/03/2023 DOI: <https://orcid.org/0000-0002-0821-8106>

JOFRÉ, CRISTÓBAL. 2020. Diagnóstico y remediación de costra superficial en camellones de suelo cultivado con durazno (*Prunus Persiga* (L.). Santiago: Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/183250>

PINILLA, ANA. 2023. Impacto de los cambios en el uso del suelo sobre el balance hídrico en zonas de llanura. Caso de estudio, cuenca superior del arroyo del azul (Provincia de Buenos Aires, Argentina). Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/148018>

FRANCOIS CORREA, PHILIPPE ERIKSON and ALEXANDRES SURREALÉS, Política y poder en la Amazonia. Estrategias de los pueblos indígenas en los nuevos escenarios de los países andinos. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2016.

ANTONIO FRANCIANE, DADÍO PURNO, MARCO SINAGRA, GOFFREDO LA LOGGIA and LEONARDO NOTO, "A paradigm of extreme rainfall pluvial floods in complex urban areas: the flood event of 15 July 2020 in Palermo (Italy)," *Natural Hazards and Earth System Sciences* 21, no. 8, (2021): 2563–2580. <http://doi.org/10.5194/nhess-21-2563-2021>.

LÓPEZ, ISABEL y ETULAIN, JUAN. 2021. Riesgo de inundación en zonas urbanas y estrategias de mitigación y adaptación: aspectos teórico metodológicos y propositivos, en la Amenaza, vulnerabilidad, riesgo y estrategias. Inundaciones por lluvia en el Gran La Plata. Coordinado por Isabel López, 99-132. Universidad Nacional de la Plata. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/149258>

LUIS CUERVO, Ciudad y territorio en América Latina: Bases para una teoría multicéntrica, heterodoxa y pluralista. Naciones Unidas, 2017.

FABIOLA LÓPEZ, CRISTINA MARTÍNEZ and ELIANE CECCON, "Ecología de la restauración en México: estado actual y perspectivas," *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88, (2017): 97–112. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.001>.

PERRIGO, FELIX. 2021. "La habitabilidad de los espacios públicos y su incidencia en la estructura urbana en el Distrito de Salaverry, 2020", trabajo de grado maestría, Universidad Privada Antenor Orrego, <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/8053>.

IZABELLA GODYB, KRZYSZTOF MUSZYNSKI and AGNIESZKA GRELA, "Assessment of the Impact of Loss-of-Retention Fees on Green Infrastructure Investments," *Water* 14, no. 4, (2022): 560. <http://doi.org/10.3390/w14040560>.

SILVINA CARRERTEO and EDUARDO KRUSE, "Impacto de la urbanización en la infiltración en un área costera, Argentina," *Tecnología Y Ciencias Del Agua* 5, no. 6, (2014): 5-24.

RAMÓN MASÍS and HUBERT VARGAS, "Incremento de Áreas Impermeables por Cambios de Usos de la Tierra en la Microcuenca del Río Burío," *Reflexiones* 93, no. 1, (2014): 33-46.

GALLEGOS, BLANCA. 2016. "Impactos urbanos ante la complejidad del cambio al modelo de ciudad compacta: efectos y contrastes en las colonias Anahuac-Granada, delegación Miguel Hidalgo", trabajo de grado doctorado, Instituto Politécnico Nacional, <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/30012>

ORTÍZ, NICOLAS. 2020. "Caracterización del impacto por inundación en una cuenca urbana", trabajo de grado maestría, Universidad Nacional de la Plata, <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/140639>

MARTIN OWUOR and DONALD MWITURUBANI, "Correlation between flooding and settlement planning in Nairobi," *Journal of Water and Climate Change* 13, no. 4, (2022): 1790–1805. <http://doi.org/10.2166/wcc.2022.335>.

MARTÍNEZ, MARÍA. 2020. "Representación social de estudiantes de escuelas primarias y secundarias sobre el proceso de urbanización en la zona centro noreste de la ciudad de Neuquén", trabajo de grado de licenciatura, Universidad Nacional del Comahue, <http://170.210.81.141:8080/handle/uncomaid/15308>

VÍCTOR ESCARTÍN, "Incidencia en el Modelo de Ocupación del Territorio de la Gestión de los Riesgos de Inundación," *Revista Aragonesa de Administración Pública* 16, (2016): 233-279. <http://doi.org/10.2166/wcc.2022.335>.

ZENIA SAAVEDRA and MARÍA PEREVOCHTCHIKOVA, "Integrated environmental assessment of the areas registered in the federal program of Payment for Hydrological Environmental Services. Case Study: Ajusco, Mexico," *Investigaciones Geográficas* no. 93, (2017). <https://doi.org/10.14350/rig.56437>.

GUILERMINA URRIZA, "Aproximación a la Trayectoria Internacional del Concepto de Ciudad Difusa," *Párrafos Geográficos* 18, no. 2, (2019): 69- 78. <http://doi.org/10.2166/wcc.2022.335>.

UNISDR, E. "Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres". *Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas*, 2009.