



Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



“ANÁLISIS DEL RIESGO EN EL NOR-ESTE DE AUSTRALIA FRENTE A LOS CICLONES TROPICALES CON ENFOQUE SOCIAL”

Trabajo realizado por:

Jipsy Giuliana Fiestas Arismendiz

Dirigido:

Itxaso Oderiz, Javier Lara

Titulación:

**Máster Universitario
en Costas y Puertos**

Santander, mes de Setiembre del 2024

TRABAJO FIN DE MASTER

Análisis del riesgo en el Nor-este de Australia frente a los Ciclones Tropicales con enfoque social

Autora: Giuliana Fiestas Arismendiz

Directores: Itxaso Oderiz Martínez, Javier López Lara

Convocatoria: septiembre 2024

Resumen

Los ciclones tropicales (CT) representan una de las mayores amenazas naturales para las regiones costeras de Australia. “*Tracy*” (25 de diciembre 1974) es, posiblemente el ciclón tropical más importante en la historia de Australia, provocando la muerte de 71 personas, la destrucción del 85% de las estructuras en Darwin y afectando profundamente la perspectiva australiana sobre la amenaza de los ciclones tropicales. Este estudio tiene como objetivo evaluar y clasificar el riesgo de la población en cinco Áreas de Gobierno Local (LGA) frente a estos fenómenos, integrando indicadores para definir una vulnerabilidad con perspectiva social. Se emplea una metodología que combina datos observacionales con modelos empíricos. El riesgo se define a partir de dos componentes fundamentales: peligrosidad y vulnerabilidad.

La peligrosidad se calcula combinando la población total de cada uno de los cinco LGA (Cairns, Townsville, Mackay, Rockhampton y Bundaberg) los cuales han denominado como “Exposición”, junto con el índice de daño potencial estimado que pueden causar los ciclones tropicales (determinado a partir de la intensidad del viento, según la Escala de Huracanes de Saffir-Simpson) a lo que se denominó como “Amenaza”.

Dicha Amenaza ha sido analizada a partir de los datos históricos de los CT del periodo de (1980-2017), extraídas de la página Internacional Best Track Archive for Climate Stewardship, o, conocida también como IBTrACS que es una base de datos global de ciclones tropicales que recopila, estandariza y distribuye información histórica sobre las trayectorias y características de estos fenómenos en todo el mundo, desarrollada por la NOAA (1). Luego de extraer los datos relevantes, se implementó un código que,

utilizando fórmulas empíricas, permitió calcular los periodos de retorno correspondientes a cada nivel de intensidad del viento. Con los datos de periodos de retorno calculados para cada nivel de intensidad de viento, se procedió a multiplicar cada uno de estos periodos por su correspondiente peso de daño significativo. De tal manera que, una vez obtenidos, se sumaron los resultados de estas multiplicaciones para obtener un valor agregado que representa la probabilidad ponderada de ocurrencia por LGA para luego multiplicarla por la población de cada subárea de las cinco LGA y calcular la peligrosidad asociada.

Los valores finales de la combinación de exposición y amenaza fueron normalizados y clasificados para cada región.

La vulnerabilidad social se evaluó a través de un análisis detallado de cuatro grupos principales: 1) Vulnerabilidad Familiar y Edades Sensibles, 2) Hablantes con bajo nivel de inglés, 3) Personas con Discapacidad, y 4) Desventaja Socioeconómica. A cada grupo se le asignaron pesos que reflejan su impacto en la vulnerabilidad general de la comunidad evaluada según una investigación publicada por la Oficina de Estadísticas de Australia (ABS) en 2011, que proporciona una base conceptual y metodológica para los índices económicos, los cuales permiten una mejor comprensión de las diferencias socioeconómicas dentro de las regiones. Con este enfoque, se procedió a normalizar los datos utilizando el método de mínimos y máximos.

El análisis revela que el factor determinante del nivel de peligrosidad es la densidad poblacional, y los indicadores con mayor influencia en la vulnerabilidad son la desventaja económica y la vulnerabilidad familiar y edades sensibles. La combinación de los índices de exposición y vulnerabilidad demuestra que estas 5 divisiones administrativas son susceptibles en distintos grados. Además, el análisis focalizado a nivel interno de cada LGA ha permitido identificar ciudades que presentan carencias y desigualdades en sus indicadores, lo que las hace más vulnerables frente a los impactos negativos de los ciclones, y requiere una atención especial en términos de planificación y mitigación del riesgo.

Se enfatiza, además, la importancia de integrar estas evaluaciones en la planificación del desarrollo urbano en dichas áreas, y en las normativas de educación superior para reducir la vulnerabilidad de las comunidades. El estudio concluye que la evaluación del riesgo social-humano frente a ciclones tropicales puede servir de modelo para futuras

investigaciones y para el desarrollo de políticas públicas sociales más efectivas en la gestión del riesgo de desastres naturales en Australia.

Risk Analysis in Northeastern Australia in the Face of Tropical Cyclones with a Social Focus

Author: Giuliana Fiestas Arismendiz

Directors: Itxaso Oderiz Martínez, Javier López Lara

Date Call: septiembre 2024

Abstract

Tropical cyclones (TC) represent one of the greatest natural hazards to Australia's coastal regions. 'Tracy' (25 December 1974) is possibly the most significant tropical cyclone in Australia's history, killing 71 people, destroying 85% of the structures in Darwin and profoundly affecting the Australian perspective on the threat of tropical cyclones. This study aims to assess and classify the risk of the population in five Local Government Areas (LGAs) to these phenomena, integrating indicators to define vulnerability with a social perspective. A methodology combining observational data with empirical models is used. Risk is defined on the basis of two fundamental components: hazard and vulnerability.

Hazard is calculated by combining the total population of each of the five LGAs (Cairns, Townsville, Mackay, Rockhampton and Bundaberg) which are referred to as 'Exposure', together with the estimated potential damage index that tropical cyclones can cause (determined from wind intensity, according to the Saffir-Simpson Hurricane Scale) to what is referred to as 'Threat'. This Threat has been analysed using historical TC data from the period (1980-2017), extracted from the International Best Track Archive for Climate Stewardship, also known as IBTrACS, which is a global database of tropical cyclones that compiles, standardises and distributes historical information on the trajectories and characteristics of these phenomena around the world, developed by NOAA (1). After extracting the relevant data, a code was implemented that, using empirical formulas, allowed the return periods corresponding to each wind intensity level

to be calculated. With the return period data calculated for each wind intensity level, each of these periods was multiplied by its corresponding significant damage weight. Thus, once obtained, the results of these multiplications were added to obtain an aggregate value that represents the weighted probability of occurrence per LGA and then multiplied by the population of each sub-area of the five LGAs to calculate the associated hazard.

The final combined exposure and hazard values were normalised and ranked for each region. Social vulnerability was assessed through a detailed analysis of four main groups: 1) Family Vulnerability and Age Sensitive, 2) Low English Speakers, 3) People with Disabilities, and 4) Socio-economic Disadvantage. Each group was assigned weights reflecting their impact on the overall vulnerability of the assessed community based on research published by the Australian Bureau of Statistics (ABS) in 2011, which provides a conceptual and methodological basis for economic indices, which allow for a better understanding of socio-economic differences within regions. Using this approach, the data was normalised using the method of minima and maxima.

The analysis reveals that the determinant of hazard level is population density, and the indicators with the greatest influence on vulnerability are; Socio-economic Disadvantage, Family and Age Sensitive vulnerability. The combination of exposure and vulnerability indices shows that these 5 administrative divisions are susceptible to varying degrees. In addition, focused analysis within each LGA has identified cities with gaps and inequalities in their indicators, which make them more vulnerable to the negative impacts of cyclones, and require special attention in terms of planning and risk mitigation.

It also emphasises the importance of integrating these assessments into urban development planning in such areas, and into higher education policies to reduce the vulnerability of communities. The study concludes that the social-human risk assessment of tropical cyclones can serve as a model for future research and for the development of more effective social policy for natural disaster risk management in Australia.

Dedicatoria

A mi madre, quien me enseñó a desenvolverme en el mundo con confianza, por nunca dudar de mí y apoyarme en cada decisión, has sido testigo de mis caídas y siempre has estado a mi lado para ayudarme a levantarme. A mi padre, quien sembró en mí el valor de la perseverancia y me enseñó a enfrentar cada momento de la vida con buena actitud, independientemente de los desafíos. A Maximiliano, cuya inocencia ha llenado mis días de ternura desde su nacimiento. A Antony, quien ha iluminado mi camino con su amor, brindándome fuerza y compañía en este arduo pero reconfortante viaje. A mis amigos, mi segunda familia, que hicieron de Santander un hogar.

Índice General

1.	INTRODUCCIÓN.....	12
2.	MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	13
	15
3.	MARCO TEÓRICO.....	16
3.1	Definición de los Ciclones Tropicales	16
3.2	Ciclones Tropicales y su clasificación	17
3.3	Frecuencia e Impacto de los Ciclones Tropicales de Australia	17
3.4	Políticas Públicas nacionales e Internacionales en Australia frente a los Ciclones Tropicales.....	19
3.5	Futura línea de Investigación.....	21
4	MARCO CONCEPTUAL.....	22
5	METODOLOGÍA	24
5.1	Área de Estudio:	24
	Cairns	24
	Townsville	25
	Mackay	26
	Rockhampton	27
	Bundaberg.....	27
5.2	Métodos para la recolección de datos	28
5.3	Técnicas analíticas y estadísticas para la evaluación del riesgo.....	29
5.4	Evaluación de la exposición.....	30
5.5	Evaluación de la amenaza	30
5.6	Evaluación de la peligrosidad	36
5.7	Evaluación de la Vulnerabilidad.....	39
5.8	Evaluación de Riesgo.....	45
6	RESULTADOS.....	46
	Resultados por LGA	46
	Cairns-	46
	Townville	49
	Mackay	51
	Rockhampton	54
	Bundaberg.....	56
7	RESULTADOS GENERALES.....	59

8	DISCUSIÓN	60
8.1	Análisis crítico:.....	60
9	CONCLUSIONES.....	61
10	ANEXOS.....	67

Índice de Figuras

Ilustración 1 Mapa del Estado de Queensland- Australia con los 5 LGA estudiados, Fuente: Propia.....	28
Ilustración 2 Descripción general de las diferentes cuencas (cuadros rojos) y las trayectorias e intensidades de la tormenta de los ciclones tropicales en el conjunto de datos IBTrACS.(1980-2017); Fuente articulo científico “Generación de un conjunto de datos sintéticos globales de riesgo de ciclones tropicales utilizando STORM” ..	34
Ilustración 3 Ilustración 4 Periodo de Retorno Vientos de CT según IBTrASC- Mackay	35
Ilustración 4 Ilustración 4 Periodo de Retorno Vientos de CT según IBTrASC- Townville.....	35
Ilustración 5 Ilustración 4 Periodo de Retorno Vientos de CT según IBTrASC- Cairns	35
Ilustración 6 Ilustración 4 Periodo de Retorno Vientos de CT según IBTrASC- Bundaberg.....	36
Ilustración 7 Ilustración 4 Periodo de Retorno Vientos de CT según IBTrASC- Rockhampton.....	36
Ilustración 8 Tasas de pérdidas para la población afectada ajustadas a la velocidad máxima del viento (MWS) mediante una función exponencial en nueve distritos costeros de sur a norte en la provincia de Guangdo	38
Ilustración 9 Estructura de la evaluación integrada del riesgo basada en indicadores – Asignación de pesos, Fuente IH Cantabria 2020.....	45
Ilustración 10 Mapa de Expocisión Humana Cairns.....	47
Ilustración 11 Distribución de la Vulnerabilidad en Cairns según sus indicadores	47
Ilustración 12 Porcentajes de influencia de indicadores en el resultando del índice Social- Cairns.	48
Ilustración 13 Mapa de Riesgo Social- Cairns.	48
Ilustración 14 Mapa de Exposición- Townville.....	49
Ilustración 16 distribución de vulnerabilidad en Tonwville según sus indicadores.....	50
Ilustración 15 Porcentajes de influencia de indicadores en el resultando del índice Social- Tonwville	50
Ilustración 17 Mapa de Riesgo- Tonwville	51
Ilustración 18 distribución de vulnerabilidad en Mackay según sus indicadores.....	52
Ilustración 19 Porcentajes de influencia de indicadores en el resultando del índice Social- Mackay	53
Ilustración 20 Mapa Riesgo Mackay	53
Ilustración 21 Mapa de Expocisión de RockHampton.....	54
Ilustración 22 distribución de vulnerabilidad en Rockhampton según sus indicadores. .	55
Ilustración 23 Porcentajes de influencia de indicadores en el resultando del índice Social- RockHampton.....	55

Ilustración 24 Mapa de Riesgo - Rockhampton	56
Ilustración 25 Mapa de Exposición - Bundaberg	57
Ilustración 26 distribución de vulnerabilidad en Bundabergn según sus indicadores	58
Ilustración 27 Porcentajes de influencia de indicadores en el resultando del índice Social- Bundaberg.....	58
Ilustración 28 Mapa Riesgos- Bundaberg	59

Índice de Tablas

Tabla 1 Clasificación de los ciclones tropicales basada en la escala de Saffir-Simpson	17
Tabla 3 Sesiones de los Ciclones tropicales según su cuenca, por James Schultz (2005)	18
Tabla 4 Impacto y consecuencia de Ciclones Tropicales históricos en Australia.	19
Tabla 5 Flujo de trabajo esquemático Fuente: Propia	30
Tabla 6 Total Indicadores para caracterizar en Índice de vulnerabilidad Humana	44
Tabla 7 Clases de riesgo de ponderación de Riesgo	46
Tabla 8 Fuente:Propia	Error! Bookmark not defined.

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Concepto de Riesgo según el IPCC como resultado de la interacción del peligro, exposición y vulnerabilidad.....	23
Ecuación 2 Definición de peligrosidad según amenaza y exposición	23

1. INTRODUCCIÓN

Los Ciclones Tropicales (CT) son devastadores en todo el mundo, entre 1970 y 2019, los ciclones tropicales fueron responsables de un tercio de todas las muertes y pérdidas económicas relacionadas con el agua y el clima en todo el mundo (2); Australia a pesar de ser un país desarrollado no ha sido ajeno y ha experimentado su propia cuota de destrucción significativa como lo público Ryan (1993) en el artículo “Costs and Benefits of Tropical Cyclones, Severe Thunderstorms, and Bushfires in Australia” donde da a conocer ,que, desde 1967 hasta principios de los años 90, las indemnizaciones de seguros fueron aproximadamente de \$1,715 millones para ciclones tropicales con una pérdida de 4 a 6 vidas” (3).

En promedio, once ciclones tropicales afectan la región australiana cada año, acumulando un costo total de AUD 23 mil millones desde 1967 y resultando en la pérdida de aproximadamente 206 vidas entre 1970 y 2017. El ciclón *Debbie* en los estados australianos de Queensland (QLD) y Nueva Gales del Sur (NSW) en 2017 es un ejemplo actual de la magnitud de daño que siguen causando estos eventos, provocando catorce muertes en toda Australia, principalmente como resultado de inundaciones extremas, y daños por 2.750 millones de dólares (4), el ciclón *Debbie* fue el ciclón más mortal desde el ciclón *Fifi* en 1991(que provocó la muerte de 29 personas) y el ciclón Tracy en 1976 antes mencionado. *Debbie* fue el segundo ciclón tropical más costoso en Australia desde el ciclón *Yasi* en 2011, que causó daños por aproximadamente 3.600 millones de dólares. Estas son las razones por la que los Ciclones Tropicales (CT) se destacan como una de las amenazas más devastadoras para Australia, un país que enfrenta periódicamente los efectos destructivos y cuyos impactos en las áreas donde los CT tocan tierra varían según las condiciones socio- económicas en las que se encuentran las zonas afectadas, demostrando que las áreas con economías más frágiles o con menor capacidad de respuesta y recuperación son particularmente vulnerables de estos eventos meteorológicos extremos.

Como lo anunció el IPCC en su capítulo especial sobre los “Océanos y la Criósfera en un Clima Cambiante”, el cambio climático está intensificando la frecuencia y agresividad de los fenómenos naturales, amplificando su impacto en la sociedad y el entorno natural. Un ejemplo de ello es el aumento de las velocidades máximas de viento de los ciclones tropicales más intensos a escala global, impulsado por el creciente impacto del calentamiento global (5).

Motivo por el que se considera crucial tomar decisiones informadas para gestionar el riesgo en las regiones más expuestas y vulnerables, por ello Yeasmin, Alea, et al. señala que, “Se necesita comprender la relación entre el nivel de riesgo de catástrofe y las interacciones entre la amenaza, la exposición y vulnerabilidad locales” (6), por lo que resulta vital mejorar continuamente las evaluaciones de riesgo asociadas a los ciclones tropicales y fortalecer los sistemas de alerta temprana.

El primer paso fundamental es identificar el tipo de riesgo específico en cada área, lo que permitirá desarrollar medidas y estrategias adecuadas. Esto, a su vez, facilitará la implementación o actualización efectiva de políticas de Reducción de Riesgo de Desastre (RRD) en Australia a nivel de área local, que deben integrarse con los planes y programas de desarrollo a todos los niveles, incluyendo la prevención, mitigación, preparación y reducción de la vulnerabilidad.

2. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Para que exista un riesgo frente a una amenaza deberá existir una exposición y ésta tendrá indicadores que la vuelvan vulnerable. Los CT no solo representan una amenaza física debido a sus vientos destructivos y lluvias intensas, sino que también exacerban las desigualdades sociales, afectando de manera desproporcionada a las poblaciones más vulnerables. Esta tesis al centrarse en un riesgo con perspectiva social frente a los Ciclones Tropicales permite identificar a las personas de cada área en particular, reconociendo los grupos más expuestos y frágiles, así como aquellos con menores recursos económicos, y deficiencias en oportunidades.

Existen dos fundamentos para centrar este estudio en el estado norte de Queensland (QLD); la primera se debe a que esta región presenta una alta concentración de áreas con desventaja socioeconómica significativa. De los diez gobiernos locales con las puntuaciones más bajas en el Índice de Desventaja Socioeconómica Relativa (IRSD), seis se encuentran en el estado de Queensland (QLD) y cuatro en el Territorio del Norte (7) como lo proporciona el índice SEIFA bajo la Oficina Australiana de Estadística (ABS) sobre las desventajas socioeconómicas de las diferentes regiones (*figura 1*).

Como segunda motivación se tuvo la información obtenida en la norma australiana *AS/NZS 1170.2:2021 – Acciones de diseño estructural – Acciones eólicas* actualizada en el 2021 que contiene nuevos requisitos que deben ser consideradas en la construcción para las distintas regiones según su ubicación y exposición a las distinta

clasificación de fuerzas Eólicas con lo que el área que también presenta vulnerabilidad a grandes intensidades de Vientos es el Norte de QLD (8) como se muestra en la *figura 2*. Ambas circunstancias explicadas antes, subrayan la necesidad de enfocar los esfuerzos en evaluar y mitigar los riesgos en las áreas más vulnerables del norte de Queensland, donde la combinación de desventaja socioeconómica y exposición a ciclones tropicales podría tener impactos graves y desproporcionados respecto a otras áreas. En consecuencia, caracterizar el perfil demográfico, socioeconómico y las vulnerabilidades de las poblaciones expuestas se vuelve fundamental para evaluar los riesgos asociados con futuros eventos de ciclones tropicales.

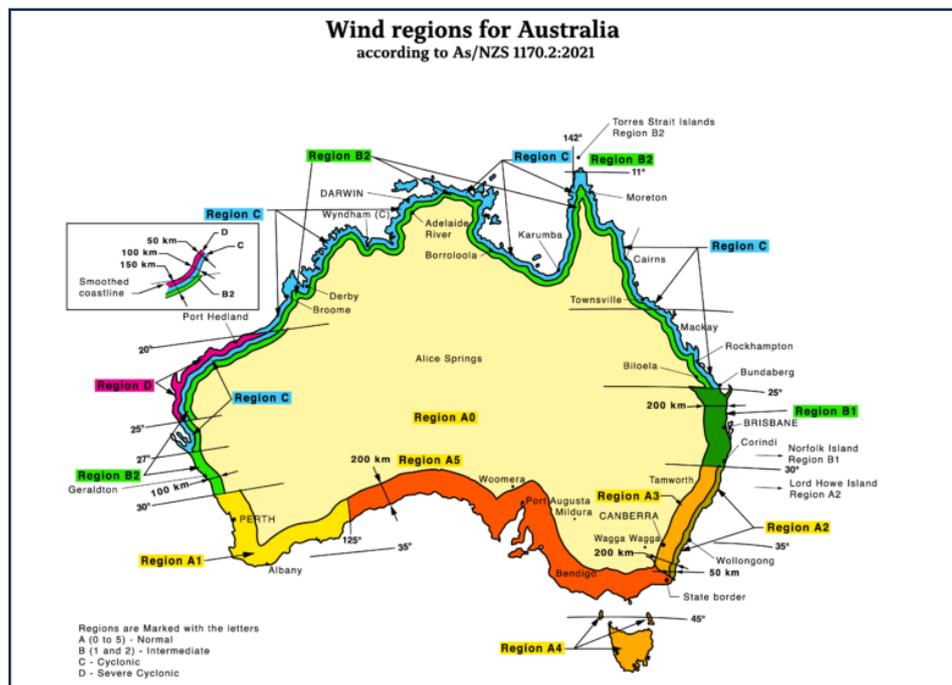
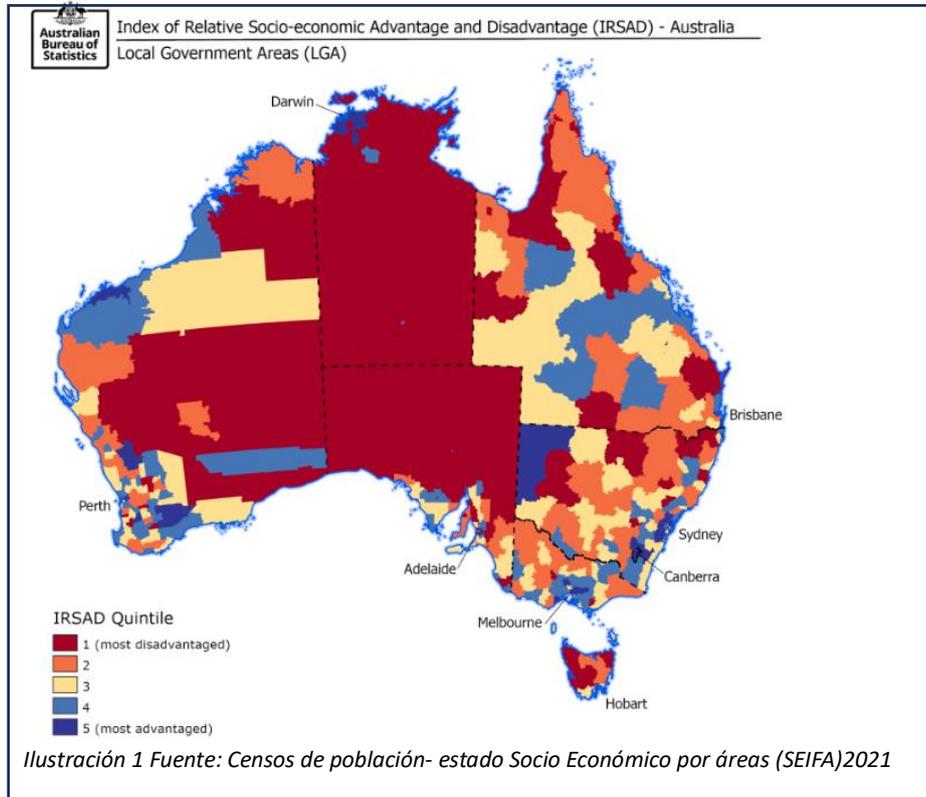
Si bien en la actualidad existen diversos estudios sobre los riesgos de los CT en Australia; los cambios temporales y espaciales en la vulnerabilidad social, requiere la necesidad de actualización y enfoque particular por área puntual para una preparación focalizada. En la actualidad los estudios de riesgos por CT no reflejan directamente la vulnerabilidad a nivel SA2 de forma individual que forman los LGA; por ejemplo, es posible que una persona relativamente aventajada viva en un área SA2 con un puntaje bajo o que una persona relativamente desfavorecida viva en un área con un puntaje alto.

Otro de los principales motivos de este estudio radica en una serie de eventos históricos que han dejado una profunda huella en el país, eventos que no se desea que se repitan en el futuro. Cuando se examinan las muertes en relación con la población per cápita, se observa un mayor nivel de riesgo en el Territorio del Norte, lo que justifica una investigación más detallada en esta zona para comprender mejor las causas de esta vulnerabilidad y desarrollar estrategias efectivas de mitigación.

De acuerdo con Haynes (2017) “Entre 1900 y 2015, se han registrado 1.859 muertes por desastres naturales” (9). Tracy (1976), por ejemplo, el CT que se produjo en diciembre de 1974 y devastó la mayor parte de Darwin, Australia, era un sistema pequeño pero intenso al tocar tierra, con un radio de vientos huracanados (34 nudos o ~ 63 km/h) y de solo unos 50 km de radio. El anemómetro del aeropuerto de Darwin registró una ráfaga de 217 km/h antes de que el instrumento quedara destruido (10). En ese desastre murieron sesenta y cinco personas, la mayoría de los edificios quedaron completamente destruidos y los daños ascendieron a unos 4.500 millones de dólares australianos.

Las evaluaciones de riesgos permiten a personas, empresas, comunidades y gobiernos tomar decisiones informadas en la gestión proactiva de desastres en Australia, esta tesis busca complementar los esfuerzos previos; actualizando y aplicando nuevos rangos para

el análisis de Vulnerabilidad, con un enfoque particular en la valoración de riesgo individualizado de cada área SA2 que forman cada LGA.



3. MARCO TEÓRICO

3.1 Definición de los Ciclones Tropicales

¿Qué significa realmente los ciclones tropicales?, se definen como sistemas de baja presión intensamente organizados que se forman sobre aguas cálidas en regiones tropicales y subtropicales. Estos fenómenos meteorológicos se caracterizan por la presencia de vientos sostenidos de alta velocidad que giran en sentido horario en el hemisferio sur, lluvias torrenciales, y marejadas ciclónicas que pueden causar inundaciones costeras significativas.

Los ciclones tropicales son alimentados por el calor latente liberado por la condensación del vapor de agua en la atmósfera, lo que les permite intensificarse y mantener su estructura organizada. A medida que el aire caliente y húmedo asciende en el centro del ciclón, se genera un área de baja presión en la superficie, que es rodeada por un muro de nubes de tormenta en espiral, conocido como el ojo del ciclón, donde las condiciones pueden ser sorprendentemente calmadas como se muestra en la *ilustración3*. Son fenómenos que impactan periódicamente poblaciones humanas y que suponen una amenaza significativa para las perspectivas de lograr los Objetivos de Desarrollo del Milenio, en particular, el objetivo general de reducir a la mitad la pobreza extrema en los países en desarrollo.

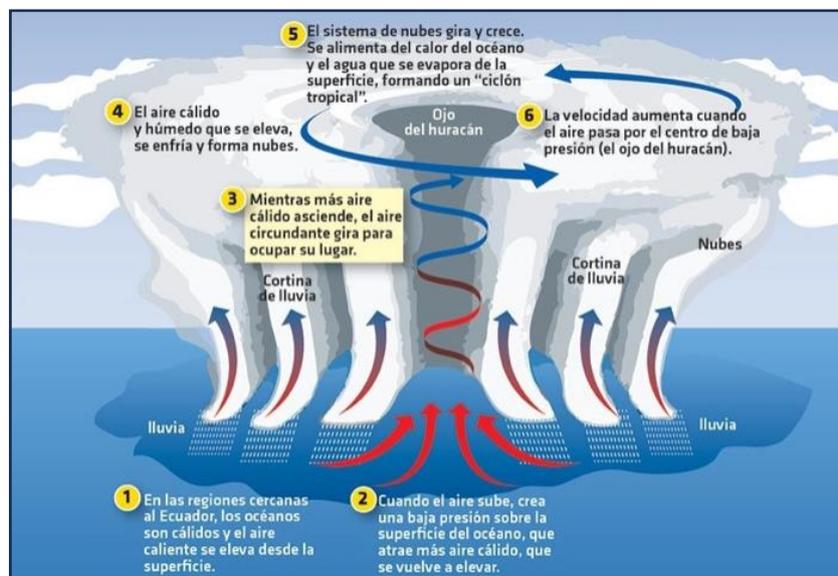


Ilustración 3 Las fases de formación de un Ciclón Tropical, Fuente: Paginaweb

3.2 Ciclones Tropicales y su clasificación

La clasificación de los ciclones tropicales es un componente crucial para comprender su potencial destructivo y planificar adecuadamente las respuestas ante estos fenómenos naturales. Dado que los CT varían ampliamente en términos de intensidad, tamaño y capacidad de causar daños, se han desarrollado varias escalas y sistemas de clasificación para evaluar y comunicar de manera efectiva el riesgo asociado con cada evento.

En esta sección, se presenta la clasificación de los ciclones tropicales basada en la Escala de Saffir-Simpson como se muestra en la *tabla 1*, que es uno de los sistemas más reconocidos internacionalmente. Esta escala categoriza los ciclones en cinco niveles, de acuerdo con la velocidad de sus vientos sostenidos y su capacidad para generar marejadas ciclónicas, lluvias intensas.

Escala de Vientos de Huracanes Saffir-Simpson	vientos máximos sostenidos de 1 minuto (m/s)
	IBTrACS
1	≤32.9
2	≤42.7
3	≤49.3
4	≤58.1
5	≤70

Tabla 1 Clasificación de los ciclones tropicales basada en la escala de Saffir-Simpson

Además, se discute cómo estos niveles se correlacionan con el potencial de impacto en diferentes regiones, particularmente en el contexto de Queensland- Australia.

También se explorarán otras metodologías de clasificación que se utilizan en diferentes partes del mundo, y cómo estas pueden complementar o contrastar con la Escala de Saffir-Simpson.

Al final de esta sección, se habrá establecido un marco claro para comprender la categorización de los ciclones tropicales, lo que permitirá un análisis más profundo de sus impactos y la implementación de estrategias de mitigación efectivas.

3.3 Frecuencia e Impacto de los Ciclones Tropicales de Australia

En cuanto a la frecuencia de los ciclones tropicales en Australia, la localización del país es un desencadenante clave. Australia está situado en el hemisferio sur, entre los océanos Índico y Pacífico, al sureste de Asia. Los océanos de la parte norte de Australia (entre los 10° y 30° de latitud sur) en las regiones de Queensland, el Territorio del Norte, y Australia

Occidental se convierte en un almacén de agua con temperaturas superiores a los 26,5°C en los meses de verano (noviembre- abril), que junto con la zona de Convergencia Intertropical moviéndose hacia el sur durante el verano trae consigo vientos alisios del noreste.

Todo este conjunto de características se interpreta en, que Australia se encuentra en una de las regiones más propensas a la ocurrencia de estos eventos, particularmente en las áreas del norte y noreste como se mencionó con anterioridad. En promedio, Australia experimenta alrededor de 11 ciclones tropicales cada año, con una variabilidad significativa en su intensidad y en las áreas afectadas.

La temporada de ciclones en Australia según James M. Schultz (2005) en su estudio de “Epidemiología de los ciclones tropicales: La dinámica del desastre, la enfermedad y el desarrollo” (11) generalmente se extiende desde noviembre hasta abril, con los meses de enero y febrero como los más activos (*tabla 2*). Sin embargo, no todos los ciclones que se forman durante esta temporada alcanzan la tierra; algunos permanecen en el océano, mientras que otros pueden disiparse antes de causar impactos significativos.

Cuenca	Temporada Completa	Temporada pico
Atlántico	1 de junio–30 de noviembre	Agosto–Octubre, con un pico pronunciado a finales de Agosto/principios de Septiembre
Noreste del Pacífico	Mayo–noviembre	Finales de Agosto–principios de Septiembre
Noroeste del Pacífico	Todo el año	Julio–noviembre, con un pico importante a finales de agosto/principios de septiembre
Norte del Índico	April–Diciembre	"Doble pico: abril–junio (pico en mayo), finales de septiembre–principios de diciembre (pico en noviembre)"
Suroeste del Índico	Finales de octubre–mayo	"Doble pico: abril–junio (pico en mayo), finales de septiembre–principios de diciembre (pico en noviembre)"
Australiana/Sudeste del Índico	Finales Octubre-Mayo	Doble pico: 1) Medios de enero 2) Medios de febrero–principios de marzo
Suroeste del Pacífico	Finales de octubre–principios de mayo	Finales de febrero–principios de marzo

Tabla 2 Sesiones de los Ciclones tropicales según su cuenca, por James Schultz (2005)

Las regiones más afectadas incluyen Queensland, específicamente el territorio Norte de Australia y el norte de Australia Occidental, como lo muestra en la *tabla 3* los Impactos y consecuencias Históricas de Ciclones Tropicales en Australia.

CT/ Año	Impacto	Consecuencias
Ciclón Mahina (1899):	Considerado el ciclón tropical más mortífero en la historia de Australia, el Ciclón Mahina golpeó la Península del Cabo York en marzo de 1899. Se estima que entre 300 y 410 personas murieron, muchas de ellas marineros en barcos perleros que fueron destruidos por la tormenta. El ciclón generó una marejada ciclónica de más de 13 metros, que se considera la más alta jamás registrada en Australia.	Aunque este evento ocurrió mucho antes de que se implementaran políticas modernas de gestión de desastres, Mahina sigue siendo un recordatorio de los peligros extremos asociados con los ciclones tropicales en Australia.
Ciclón Tracy (1974)	Uno de los ciclones más destructivos en la historia de Australia, devastando la ciudad de Darwin en la víspera de Navidad de 1974. El ciclón causó la muerte de 71 personas y dejó a más de 25,000 personas sin hogar, lo que representaba aproximadamente el 70% de la población de Darwin en ese momento. Las pérdidas económicas se estimaron en alrededor de 837 millones de dólares australianos de la época, lo que equivaldría a miles de millones en la actualidad.	La devastación causada por Tracy llevó a una revisión completa de las normas de construcción en Australia, con el objetivo de hacer que las estructuras sean más resistentes a los ciclones.
Ciclón Yasi (2011):	Golpeó el norte de Queensland en febrero de 2011, fue uno de los ciclones más poderosos registrados en Australia, alcanzando la categoría 5. Aunque no hubo pérdida significativa de vidas humanas, el daño a la infraestructura fue extenso, con costos estimados en 3.5 mil millones de dólares australianos. Las pérdidas agrícolas fueron particularmente graves, con la destrucción de más del 75% de los cultivos de banano de la región, afectando tanto la economía local como la nacional.	Yasi subrayó la importancia de los sistemas de alerta temprana y la planificación de evacuaciones, lo que llevó a mejoras en estos aspectos a nivel regional y nacional.
Ciclón Debbie (2017):	Impactó Queensland en marzo de 2017, causando daños generalizados en viviendas, negocios, y la infraestructura eléctrica. Las pérdidas económicas superaron los 2.7 mil millones de dólares australianos, convirtiéndolo en uno de los desastres naturales más costosos en la historia reciente de Australia. Además de los daños materiales, Debbie también tuvo un impacto significativo en la salud mental y el bienestar de las comunidades afectadas.	Este evento resaltó la necesidad de resiliencia comunitaria y llevó a un enfoque renovado en la preparación y la respuesta a desastres, con un enfoque especial en el apoyo post-desastre para las comunidades afectadas.
Ciclón Seroja (2021):	El Ciclón Seroja fue un ciclón tropical de categoría 3 que impactó la costa occidental de Australia en abril de 2021. Fue particularmente devastador para la ciudad de Kalbarri, donde alrededor del 70% de las edificaciones resultaron dañadas. Las pérdidas económicas se estimaron en más de 400 millones de dólares australianos. Seroja también causó la muerte de al menos dos personas y desplazó a cientos de residentes.	Este ciclón resaltó la vulnerabilidad de las comunidades en la costa oeste de Australia, una región que no suele ser impactada por ciclones tropicales de esta magnitud, lo que llevó a un incremento en las inversiones en resiliencia y recuperación.

Tabla 3 Impacto y consecuencia de Ciclones Tropicales históricos en Australia.

3.4 Políticas Públicas nacionales e Internacionales en Australia frente a los Ciclones Tropicales

Australia ha adoptado y adaptado los principios del Marco de Sendai (12) en su enfoque de gestión de Riesgos de desastres 2015-2030 especialmente en lo que respecta a la preparación y respuesta ante ciclones tropicales.

Este país ha integrado la reducción del riesgo de desastres en sus políticas nacionales y regionales, priorizando la mitigación de riesgos asociados a los ciclones tropicales. Lo que incluye la implementación de normativas de construcción más estrictas en las zonas propensas a ciclones; La aparición del ciclón "Tracy" en Darwin, el día de Navidad de 1974, dio lugar a una enmienda que introdujo una nueva tabla de presión externa, publicada en 1978, y que a lo largo de los años ha venido siendo modificada, siendo la última versión actualizada la norma AS/NZS 1170.2(2021), que establece los requisitos para la resistencia al viento de las edificaciones, además de desarrollar métodos avanzados para el pronóstico estacional de los ciclones tropicales para la región australiana, siendo el pionero Wijnands et al. (2015) quien empleó herramientas matemáticas avanzadas para simular y predecir fenómenos atmosféricos y prever la formación, trayectoria e intensidad de los CT_(13) ;y el reciente modelo por Qian et al. (2022) quien se centra en mejorar la precisión de los pronósticos estacionales de CT en las regiones de Australia y el Océano Pacífico Sur. (14).

En Australia, la Oficina de Meteorología (BoM) tiene la responsabilidad de monitorear y emitir alertas para los ciclones tropicales como parte de la Ley de Meteorología (1955). En escalas de tiempo más cortas, las declaraciones de vigilancia o advertencia de ciclones tropicales se dan dentro de las 48 h posteriores a los vientos huracanados esperados (63 km/h). En escalas de tiempo más largas, el pronóstico estacional de ciclones tropicales se emite antes del inicio de la temporada de ciclones tropicales (en el hemisferio sur, la temporada de ciclones tropicales suele ser de noviembre a abril) como se muestra en *la tabla 2*.

Siguiendo los principios del Marco de Sendai, Australia ha desarrollado programas para fortalecer la resiliencia de las comunidades locales, especialmente en las regiones del norte y noreste que son más vulnerables a los ciclones tropicales. Estos programas incluyen la educación y concienciación pública, así como la participación de las comunidades en la planificación y ejecución de estrategias de mitigación, posicionando a Australia como uno de los cuatro países desarrollados mejor preparados.

De la misma manera en sintonía con el Marco de Sendai, Australia participa activamente en la cooperación internacional y regional para la gestión de desastres, compartiendo conocimientos, tecnologías y recursos con países vecinos en el Pacífico, muchos de los cuales también son vulnerables a los ciclones tropicales, integrando la reducción de riesgos en su política de asistencia internacional y ayudando a los países del Pacífico a

liderar sus propios esfuerzos de adaptación climática y reducción de desastres. Esto incluye la implementación de programas regionales que mejoran la previsión climática y oceánica, apoyando tanto la agricultura como la preparación para desastres en estas naciones insulares (15), Australia ha demostrado ser un país comprometido a la monitorización continua y la evaluación de sus estrategias de gestión de riesgos, adaptándolas según sea necesario para mejorar su eficacia. Esto incluye la recolección y análisis de datos sobre CT y otros desastres, en línea con el objetivo de Sendai de basar las políticas en evidencias sólidas.

De esta manera las metas de Reducción de Riesgo de Desastres para el 2030 en Australia (16) son:

- Tomar medidas para reducir el riesgo de desastres existente.
- Minimizar la creación de nuevos riesgos de desastres a través de decisiones tomadas en todos los sectores.
- Dotar a los tomadores de decisiones con las capacidades y la información necesarias para reducir el riesgo de desastres y gestionar los riesgos residuales.

3.5 Futura línea de Investigación

A medida que las temperaturas globales continúan aumentando, impulsadas por las emisiones de gases de efecto invernadero, se prevé que el comportamiento de los ciclones tropicales también se vea afectado, y aunque el número total de ciclones tropicales puede no aumentar significativamente; las investigaciones muestran que, con el calentamiento global, se prevé un aumento en la proporción de ciclones tropicales que alcanzan las categorías más altas en la Escala de Saffir-Simpson (categorías 4 y 5). Este incremento en la intensidad está relacionado con el aumento de la temperatura de la superficie del mar, que proporciona más energía a los ciclones, resultando en vientos más fuertes y una mayor capacidad destructiva, prediciendo que la frecuencia de estos ciclones más intensos aumentará a lo largo del siglo XXI.

Otro de los aspectos críticos relacionado con el cambio climático es el aumento del nivel del mar, que exacerba el impacto de las marejadas ciclónicas durante los ciclones tropicales. Las comunidades costeras en Australia, especialmente en Queensland y el Territorio del Norte, están en mayor riesgo debido a esta combinación de factores.

4 MARCO CONCEPTUAL

Las evaluaciones de riesgos desempeñan un papel crucial en la identificación de las regiones más expuestas y vulnerables a desastres naturales, lo que, a su vez, se convierte en un elemento prioritario para una gestión eficaz y proactiva de desastres. Este marco conceptual está diseñado para ofrecer una comprensión clara y coherente de los factores que influyen en el riesgo de desastres por ciclones naturales, y se fundamenta en la adaptación de definiciones y principios clave establecidos por reconocidas organizaciones internacionales. Entre estas organizaciones se incluyen el UNISDR (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, ahora conocida como UNDRR), la Guía ISO 73 (2009) sobre gestión de riesgos, UNESCO (2009b), y la ONU (2016). Estas fuentes ofrecen un marco estandarizado e integral para la comprensión y gestión del riesgo de desastres, asegurando que la metodología aplicada en esta investigación esté alineada con las mejores prácticas internacionales en la reducción del riesgo de desastres.

UNISDR (2004, 2009) ha sido clave en el desarrollo de terminologías y conceptos que son ampliamente aceptados a nivel internacional, tales como la definición de riesgo, vulnerabilidad, y capacidad de respuesta (17). Estos conceptos se han integrado en la metodología para asegurar que el análisis esté alineado con las mejores prácticas globales en la gestión del riesgo de desastres.

Por otro lado, la Guía ISO 73 (2009) ofrece un enfoque estructurado para la gestión del riesgo, enfatizando la identificación, evaluación, y tratamiento del riesgo. Este estándar internacional es crucial porque proporciona un lenguaje común y un enfoque sistemático que puede ser aplicado en diversos contextos, incluyendo el análisis de los riesgos asociados con los ciclones tropicales en Australia (18).

Asimismo, la UNESCO (2009b) y la ONU (2016) han contribuido con enfoques interdisciplinarios y orientados al desarrollo sostenible, subrayando la importancia de la educación, la ciencia y la cultura en la construcción de resiliencia frente a los desastres naturales (19). La integración de estos enfoques en el marco conceptual asegura que la investigación no solo aborde la gestión del riesgo desde una perspectiva técnica, sino también desde una óptica social y cultural.

Empezaremos con el concepto de “Riesgo”, en el quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC) (5) señaló que el riesgo es el resultado de la interacción de tres factores

$$\mathbf{Riesgo = Peligro \cdot Exposición \cdot Vulnerabilidad}$$

Ecuación 1 Concepto de Riesgo según el IPCC como resultado de la interacción del peligro, exposición y vulnerabilidad

Donde:

- **Peligro** se define como "La ocurrencia potencial de un evento de peligro natural que puede causar la pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como daños y pérdidas a la infraestructura de la propiedad, los medios de vida y la prestación de servicios"
- **Exposición** se define como "La presencia de personas; sustento; especies o ecosistemas; funciones, servicios y recursos ambientales; infraestructura; o los bienes económicos, sociales o culturales existentes en el lugar y en el entorno que podrían verse afectados negativamente (por un peligro natural)"
- **Vulnerabilidad** se define como como "La propensión o predisposición a verse afectada negativamente (por un peligro natural) y abarca una variedad de conceptos y elementos, incluida la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad para hacer frente y adaptarse"

De lo que se adaptó la siguiente formula

$$\mathbf{Peligrosidad = Amenaza \cdot Exposición}$$

Ecuación 2 Definición de peligrosidad según amenaza y exposición

Donde

- **Amenaza** es el evento natural que al presenciar contacto con la exposición se vuelve en una amenaza.

Los indicadores de vulnerabilidad se centran principalmente en temas de Orientación social como la tasa porcentaje de edades vulnerables; y la desventaja socioeconómica, mientras que la exposición suele estar compuesta por el índice Humano de exposición, físicos y medioambientales.

5 METODOLOGÍA

5.1 Área de Estudio:

El norte de Queensland (QLD) es una región de gran diversidad geográfica, económica y social, abarcando desde la costa tropical hasta vastas zonas rurales y mineras. Esta región es conocida tanto por su rica biodiversidad, que incluye la Gran Barrera de Coral, como por su economía variada, que abarca sectores clave como el turismo, la agricultura, la minería y los servicios. (20) Dada su ubicación geográfica y características socioeconómicas, el norte de QLD está expuesto a una variedad de riesgos naturales y socioeconómicos. La región es particularmente vulnerable a fenómenos meteorológicos extremos, como ciclones e inundaciones, que pueden tener efectos devastadores en las infraestructuras, la economía local y el bienestar de las comunidades.

Además, la dependencia de industrias sensibles a fluctuaciones globales, como la minería y el turismo, añade una capa adicional de riesgo económico (21). La región también enfrenta desafíos demográficos, como el envejecimiento de la población en algunas áreas, lo que podría afectar la resiliencia económica y social en el futuro (22).

Este estudio se centra en analizar los riesgos específicos que enfrentan las áreas locales gubernamentales (LGA) de Cairns, Townsville, Mackay, Rockhampton y Bundaberg. Estas áreas representan tanto centros urbanos como zonas agrícolas y mineras, cada una con sus propias características y desafíos únicos. Al evaluar estos riesgos, se busca proporcionar una visión integral que permita la implementación de estrategias efectivas de mitigación y adaptación para fortalecer la resiliencia de estas comunidades frente a futuros desafíos.

5.1.1 Cairns

Ubicación y demografía

Cairns se encuentra en la costa noreste de Queensland, con coordenadas aproximadas de 16.9203° S, 145.7710° E. Cuenta con una población residente aproximada al 2023 de 175 398 personas. Es un área diversa con una significativa comunidad indígena del 10% y una creciente población de inmigrantes, lo que enriquece la cultura local, tiene un ingreso total medio de 50 743 AUS al 2020. (23)

Turismo. Agricultura y Pesca

Cairns es un destino turístico importante, siendo la puerta de entrada principal a la Gran Barrera de Coral y la selva tropical de Daintree; pero, además, una zona de agricultura,

especialmente el cultivo de caña de azúcar, y la pesca son sectores económicos importantes.

Riesgos Principales:

Ciclones, inundaciones y Cambio climático:

Cairns está altamente expuesta a ciclones, que pueden causar daños significativos a la infraestructura y afectar la economía local. Existe una fuerte variación de un año a otro en el número de ciclones tropicales en la región de Cairns, ya que se producen el doble de impactos durante las condiciones de La Niña que, durante El Niño, tal como lo afirma Jeff Callaghan (2003) en su investigación “The Tropical Cyclone Risk in Cairns” (24)).

Capacidades y Resiliencia:

Cairns tiene planes de respuesta a desastres bien establecidos, pero su economía, basada en gran medida en el turismo, es vulnerable a estos eventos. La capacidad de recuperación es un área de preocupación, especialmente si se considera el impacto a largo plazo de eventos repetidos.

5.1.2 Townsville

Ubicación y Demografía

Townsville está ubicada en la costa noreste de Queensland, al sur de Cairns, con coordenadas aproximadas de 19.2584° S, 146.8169° E, tiene una población residente de aproximadamente 201 433 personas al 2023 y un ingreso total medio al 2020 de 57 665 AUS. Es un centro urbano clave en el norte de Queensland con una población diversa que incluye una gran comunidad militar.

Economía y Sectores Clave

Townsville alberga una de las mayores bases militares de Australia, la Base Lavarack, que es un importante motor económico. La ciudad es un centro para la industria pesada y la minería, con plantas de procesamiento de minerales y manufactura. Dentro del área de educación y salud, La Universidad James Cook y los hospitales regionales son instituciones clave que apoyan la economía local.

Turismo, Agricultura y Pesca

Townsville también se beneficia del turismo, con atracciones naturales como Magnetic Island y su proximidad a la Gran Barrera de Coral. En la periferia de Townsville, la agricultura juega un rol importante, aunque menor en comparación con otras industrias.

La pesca es una actividad tradicional, aunque en menor escala comparada con el turismo y la industria.

Riesgos Principales

Ciclones, Inundaciones y Cambio Climático:

Townsville es vulnerable a ciclones que pueden causar daños significativos, especialmente en infraestructura crítica como instalaciones militares y plantas industriales. La temporada de lluvias trae consigo el riesgo de inundaciones que pueden afectar tanto las áreas urbanas como rural

5.1.3 Mackay

Ubicación y Demografía

Mackay está situada en la costa central de Queensland, con coordenadas aproximadas de 21.1413° S, 149.1867° E, tiene una población de aproximadamente 126 907 personas residentes al 2023, con un ingreso total medio al 2020 de 60 190 AUS.

Economía y Sectores Clave

Es un centro crucial para la minería de carbón, con una gran cantidad de minas en los alrededores que impulsan la economía local. La caña de azúcar es uno de los cultivos principales, y la región también produce otros productos agrícolas.

Turismo, Agricultura y Pesca

El turismo en Mackay incluye visitas a las islas Whitsunday y experiencias en la Gran Barrera de Coral. La agricultura es un pilar económico, con vastas plantaciones de caña de azúcar y otras actividades agrícolas. La pesca es parte de la economía local, aunque no es un sector dominante.

Riesgos Principales

Ciclones, Inundaciones y Cambio Climático:

La región es susceptible a ciclones que pueden interrumpir tanto la minería como la agricultura de la misma manera que las lluvias intensas y las inundaciones son comunes durante la temporada de ciclones, lo que afecta la infraestructura y la productividad agrícola, el cambio climático podría traer variaciones en los patrones climáticos.

5.1.4 Rockhampton

Ubicación y Demografía

Rockhampton se encuentra cerca de la costa central de Queensland, con coordenadas aproximadas de 23.3783° S, 150.5106° E. Con una población residente de aproximadamente 84,517 personas al 2023, y un ingreso total medio al 2020 de 55 399AUS.

Economía y Sectores Clave

Rockhampton es uno de los principales centros para la cría de ganado en Australia, con una economía fuertemente basada en la agricultura. Alberga instituciones educativas y de salud que sirven a toda la región central de Queensland.

Riesgos Principales

Ciclones, Inundaciones y Cambio Climático:

Rockhampton es susceptible a inundaciones, especialmente durante la temporada de lluvias, que afectan tanto las áreas rurales como urbanas. Las sequías prolongadas representan un riesgo considerable para la agricultura y la ganadería.

5.1.5 Bundaberg

Ubicación y Demografía

Bundaberg se encuentra en la costa sureste de Queensland, con coordenadas aproximadas de 24.8667° S, 152.3517° E. Tiene una población residente al 2023 de alrededor de 84 517 personas, y un ingreso total medio al 2020 de 460 000AUS.

Economía y Sectores clave

La producción agrícola de caña de azúcar y frutas como mangos y aguacates, son la columna vertebral de la economía de Bundaberg, otro sector clave en la economía local es la industria manufacturera, especialmente en el procesamiento de alimentos. Los turistas suelen partir desde Bundaberg para visitar islas como Lady Elliot y Lady Musgrave, que forman parte del arrecife.

Riesgos Principales

Ciclones, Inundaciones y Cambio Climático:

Bundaberg ha experimentado inundaciones devastadoras en el pasado, que representan un riesgo significativo para la infraestructura y la economía agrícola. Las sequías

prolongadas, agravadas por el cambio climático, representan una amenaza importante para la agricultura.

En la *ilustración 2* Se presenta un mapa del área de estudio con las divisiones LGA de QLD

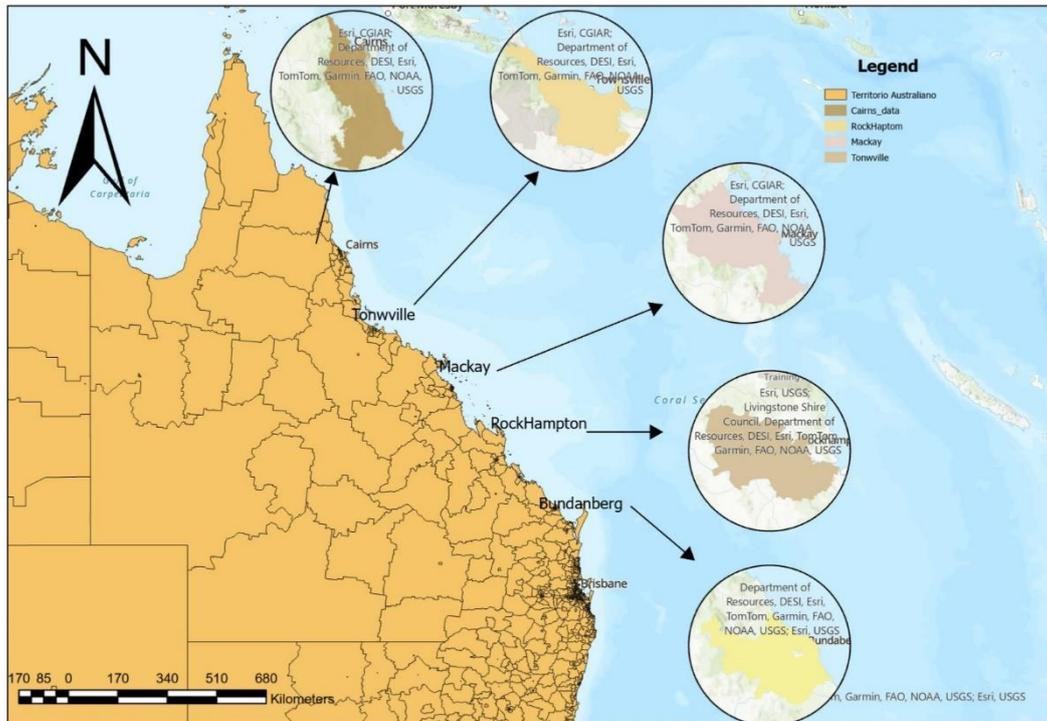


Ilustración 1 Mapa del Estado de Queensland- Australia con los 5 LGA estudiados, Fuente: Propia

5.2 Métodos para la recolección de datos

Los datos del censo están disponibles según el Estándar de geografía estadística de Australia (ASGS) de la Oficina Australiana de Estadísticas (ABS), y el área más pequeña es un bloque de malla (MB) (30 a 60 viviendas), estos MB se agregan a su vez a los niveles de área estadística (SA) 1 a 4 (SA1, SA2, SA3, SA4) ordenados por tamaño de área.

Para el mapeo del riesgo de población asociado a ciclones tropicales, Queensland (QLD) fue dividido en regiones, las cuales a su vez se agruparon en Áreas Gubernamentales Locales (LGA). Estas regiones constituyen la base de resolución para adaptar de manera óptima los conjuntos de datos disponibles en formato poligonal, correspondientes a las cinco LGA estudiadas en QLD. La recopilación y mapeo de los datos se realizaron utilizando ArcGIS Pro."

5.3 Técnicas analíticas y estadísticas para la evaluación del riesgo

El mapeo de riesgos es una forma de evaluación de riesgos que visualiza los componentes del riesgo como capas de peligro, exposición y vulnerabilidad en un mapa. Esto puede desglosarse en entradas de peligro como en este caso “Intensidades de viento según la Escala de Saffir Simpson”, indicadores de exposición (densidad de población) e indicadores de vulnerabilidad (desventajas socio-económicas y población sensible).

Los mapas de Exposición, Peligro, Vulnerabilidad, y Riesgo son coropléticos, lo que se traduce que las áreas coloreadas con tonos más oscuros tienen una clasificación de índice mayor correspondientes al mapa que corresponda. La resolución espacial de cada mapa está limitada a la resolución de las regiones o SA2.

La metodología comprende dos fases principales: (i) la evaluación integrada del Peligro de los CT según su intensidad de viento (ii) la selección de múltiples indicadores de Vulnerabilidad. Estas dos tareas diferentes pero complementarias guiarán toda la metodología aplicada en este trabajo.

La evaluación del peligro ha requerido la selección de la variable asociada al evento, en este caso “La velocidad promedio del viento sostenido durante un período de un minuto, medida en metros por segundo (m/s)”.

La evaluación del peligro impulsa el análisis de los individuos y los elementos expuestos, en este caso personas ubicadas en un área local gubernamental, junto con su vulnerabilidad (V. familiar y Edades Sensibles, nivel de inglés bajo, discapacitados, Desventaja socioeconómica).

Debido a los distintos criterios, magnitudes se ha tenido en cuenta rangos de valores. La metodología desarrollada se basa en la relación directa entre los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad).

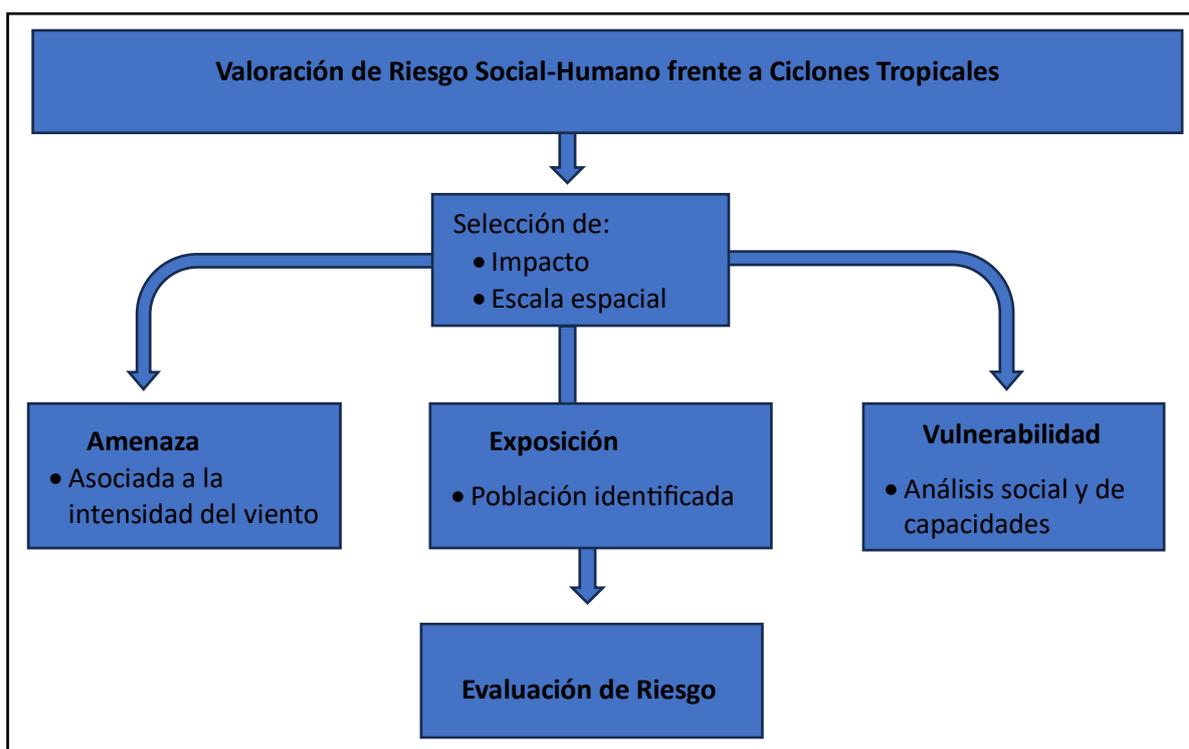


Tabla 4 Flujo de trabajo esquemático Fuente: Propia

5.4 Evaluación de la exposición

La densidad de población se utiliza comúnmente como un indicador de la exposición de la población humana en estudios similares, este estudio no ha sido la excepción. Se ha evaluado sumando la población correspondiente de cada polígono (89) en total que hacen referencia a cada ciudad que forman los 5 LGA estudiados (Cairns, Townville, Mackay, Rockhampton y Bundaberg). En el modelo ArcGIS, las capas de datos se forman según los LGA al que corresponda.

5.5 Evaluación de la amenaza

El análisis de la amenaza se ha realizado utilizando un enfoque basado en datos históricos, extraídos del International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS). Este conjunto de datos unificado recopila las mejores trayectorias de los ciclones tropicales durante la postemporada, elaboradas por los centros de alerta tropical de todas las cuencas de ciclones tropicales (CT), abarcando el período de 1980 a 2017. En particular, para la cuenca del Pacífico Sur (SP), el valor promedio de formación de ciclones tropicales por año (λ) es de 9.3. Además, se han utilizado relaciones empíricas que permiten analizar de manera precisa las trayectorias e intensidades observadas de los ciclones tropicales, lo

que otorga al estudio una base sólida y respaldada por datos reales. Para explicar la metodología se ha dividido en distintas etapas de trabajo.

Etapas 1: Preparación e ingreso de datos (Input datasets)

En esta etapa se utilizan los datos observacionales, históricos y campos atmosféricos es decir se extraen los Ciclones tropicales del conjunto de datos históricos globales de la fuente IBTrACS, los cuales gráficamente se muestran como la *ilustración 3*.

Al entrar en la cuenca del Sur Pacífico [ibtracs.SP.list.v04r01.csv](#) de coordenadas 5–60°S 135°–240°E

Las características extraídas de los CT son:

- SID- Es un identificador único para cada ciclón tropical en el conjunto de datos.
- SEASON - Se refiere al año en que se formó el ciclón tropical.
- LAT - Indica la latitud de la ubicación del ciclón en ese punto de la trayectoria.
- LON - Indica la longitud de la ubicación del ciclón en ese punto de la trayectoria.
- WMO_WIND - Es la velocidad máxima del viento registrada en ese punto, siguiendo los estándares de la OMM. Existe una relación entre MSLP (Presión mínima a nivel del mar) y WMO_wind y esta es fundamental para entender la intensidad del ciclón, llamada también relación “Viento-Presión” (WPR, Wind-Pressure Relationship) y refleja como la presión mínima en el centro del ciclón influye en la velocidad máxima de los vientos
- DIST2LAND - Mide la distancia entre el centro del ciclón y la costa más cercana en kilómetros, pudiendo afectar al ciclón y su trayectoria, en general, la proximidad a la costa tiene un impacto significativo en la evolución de los ciclones tropicales, y DIST2LAND proporciona una métrica clave para entender cuándo y cómo un ciclón puede interactuar con tierra firme.

Etapas 2: Ajuste de distribuciones y relaciones

Las características de las tormentas extraídas se identifican y se procesan previamente para crear distribuciones y relaciones, empezando por:

- (i) A continuación, para cada cuenca, extraemos las tormentas en todos los pasos de tiempo consecutivos donde el U10 es mayor que 18 m/s, o donde el TC no ha alcanzado una clasificación de ciclón extra tropical en el conjunto de datos IBTrACS.

- (ii) Cálculo de Distancias, Se implementa la fórmula de Haversine para calcular la distancia entre cada punto de la trayectoria del ciclón y las localidades seleccionadas. Esto es esencial para determinar si un ciclón

$$d = 2r \cdot \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\Delta lat}{2} \right) + \cos(lat_1) \cdot \cos(lat_2) \cdot \sin^2 \left(\frac{\Delta lon}{2} \right)} \right)$$

Ecuación 3 Fórmula de Haversine para el cálculo de distancias entre trayectoria del ciclón

Donde

- d es la distancia entre los dos puntos (en kilómetros).
 - r es el radio de la Tierra (aproximadamente 6371 km).
 - lat_1, lat_2 son las latitudes de los dos puntos en radianes.
 - lon_1, lon_2 son las longitudes de los dos puntos en radianes.
 - $\Delta lat = lat_2 - lat_1$.
 - $\Delta lon = lon_2 - lon_1$.
- (iii) Se verifica si la distancia calculada es menor o igual al radio especificado, de tal manera que si se detecta que la tormenta está dentro del radio se continúa trabajando con ese evento y se almacena la velocidad del viento del mismo.
- (iv) Se selecciona el umbral de 18 m/s para cumplir con la clasificación de tormenta tropical en la Escala de Huracanes Saffir-Simpson, que clasifica los ciclones tropicales en diferentes categorías basadas en la velocidad del viento. Esta escala considera tormentas con vientos entre 17.5 y 32.6 m/s como tormentas tropicales, mientras que aquellas con vientos superiores a 33 m/s entran en la categoría de huracanes, desde la Categoría 1 hasta la Categoría 5, según su intensidad. Como se muestra en la tabla.
- (v) Utilizando la relación empírica viento-presión (WPR), se evalúa la velocidad máxima del viento en cada ciclón que pasa dentro del radio especificado. Esta relación es comúnmente empleada para predecir la velocidad máxima de un ciclón en función de la presión central mínima. Este enfoque ha sido detallado en estudios como el presentado por “*Commun Earth Environ*” (25).

- (vi) Para el cálculo de los períodos de retorno de la intensidad pico de un TC, evaluamos la presión mínima y la velocidad máxima del viento a lo largo de una trayectoria en los IBTrACS . Este análisis permite interpolar los periodos de retorno para diferentes velocidades del viento, lo que facilita la evaluación del riesgo en cada localidad.

$$P(x) = \frac{k}{n + 1}$$

Ecuación 4 Formula de Periodos de retorno

Donde:

- $P(x)$ es la probabilidad de excedencia del evento
- k es la posición del evento cuando se ordenan de mayor a menor
- n es el número total de eventos.

Como último paso de trabajo con las fórmulas, se realiza la interpolación lineal entre los puntos calculados con la finalidad de encontrar los PR asociado a una velocidad del viento específica.

$$T_{interp} = T_1 + \frac{(v_{interp} - v_1) \cdot (T_2 - T_1)}{v_2 - v_1}$$

Ecuación 4 Interpolación Lineal

Donde:

- T_{interp} es el periodo de retorno interpolado
 - v_{interp} es la velocidad del viento de interés
 - T_1, T_2 son los periodos de retorno conocidos más cercanos a v_{interp}
 - v_2, v_1 son las velocidades del viento asociadas con T_1, T_2 respectivamente
- (vii) Después de completar el proceso de cálculo y obtener las intensidades de viento clasificadas según sus respectivos periodos de retorno, se procede a estimar la amenaza potencial de ocurrencia en cada LGA. Esto permite determinar el peligro, *explicado a continuación*, asociado a los ciclones tropicales en función de la velocidad máxima del viento y la frecuencia con la que dichos eventos podrían afectar cada área geográfica específica.

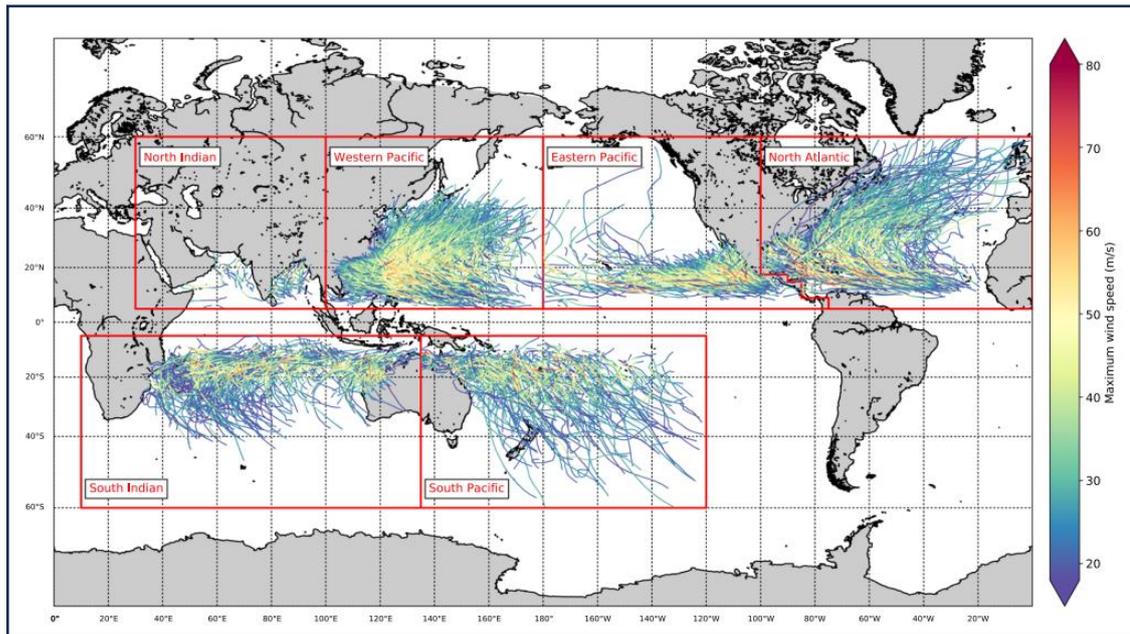


Ilustración 2 Descripción general de las diferentes cuencas (cuadros rojos) y las trayectorias e intensidades de la tormenta de los ciclones tropicales en el conjunto de datos IBTrACS.(1980-2017); Fuente artículo científico "Generación de un conjunto de datos sintéticos globales de riesgo de ciclones tropicales utilizando STORM"

Finalmente, se presentan las gráficas resultantes para cada LGA, donde se ilustran las intensidades de viento asociadas con sus respectivos periodos de retorno. Estas visualizaciones permiten una interpretación clara de la amenaza potencial en cada LGA como se muestran en las ilustraciones

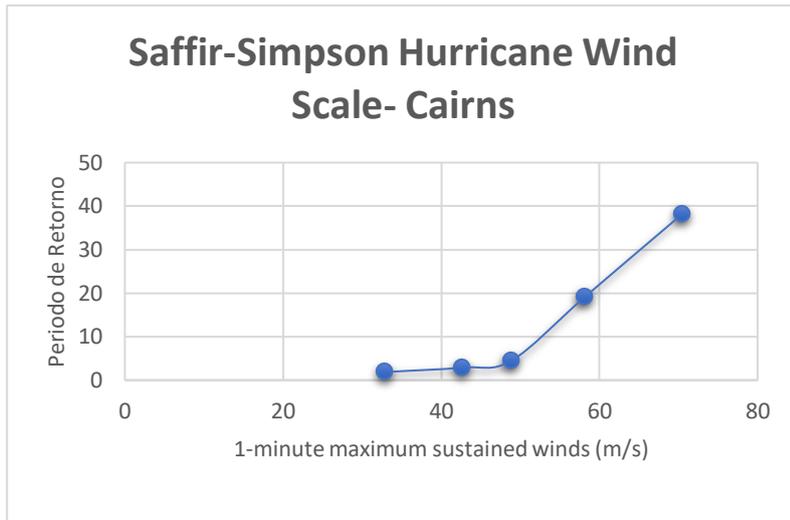


Ilustración 5 Ilustración 4 Periodo de Retorno Vientos de CT según IBTrASC- Cairns

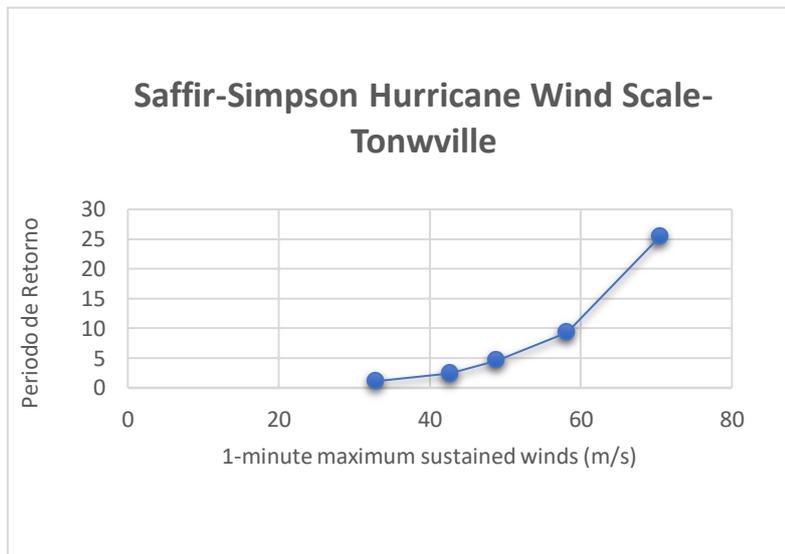


Ilustración 4 Ilustración 4 Periodo de Retorno Vientos de CT según IBTrASC- Townville

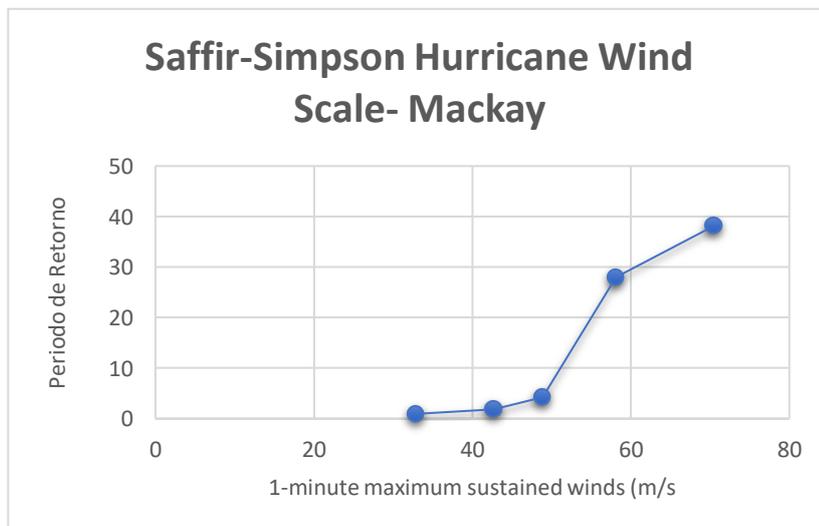


Ilustración 3 Ilustración 4 Periodo de Retorno Vientos de CT según IBTrASC- Mackay

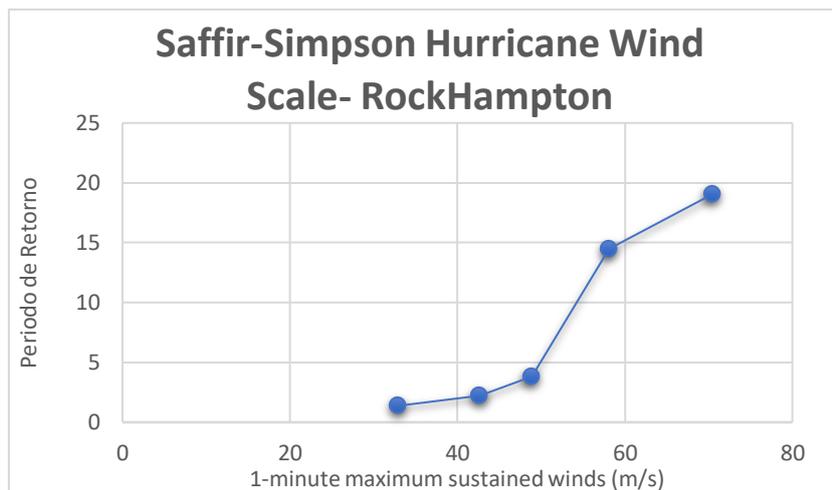


Ilustración 7 Ilustración 4 Período de Retorno Vientos de CT según IBTrASC- Rockhampton

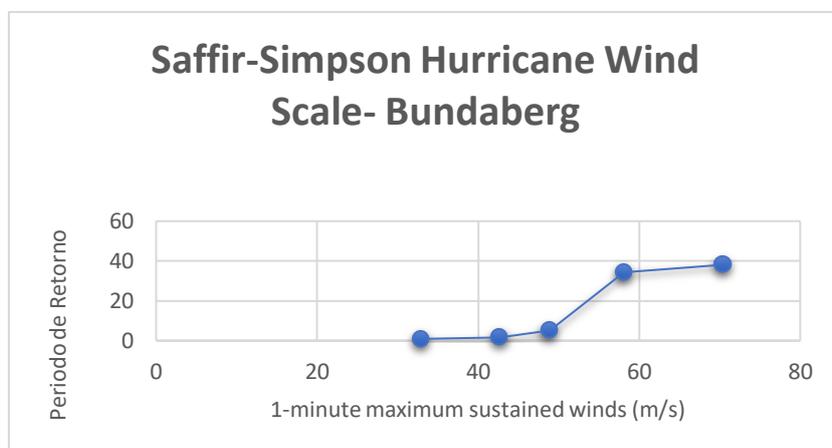


Ilustración 6 Ilustración 4 Período de Retorno Vientos de CT según IBTrASC- Bundaberg

5.6 Evaluación de la peligrosidad

Se adoptó una metodología que integra tanto la exposición como la amenaza para determinar el nivel de peligrosidad al que se enfrenta una determinada área. La amenaza se definió en términos de la intensidad de los vientos asociados a ciclones tropicales, categorizada por sus niveles de intensidad de viento, y sus respectivos períodos de retorno.

Cálculo de la Probabilidad de Ocurrencia Anual:

Para cada nivel de intensidad del viento, se calcularon las probabilidades de ocurrencia en un año, utilizando la inversa de los períodos de retorno correspondientes. Este cálculo permite estimar la frecuencia con la que es probable que ocurra un evento de determinada intensidad en un año dado.

Se determina el Período de Retorno como (26)

$$T(x) = \frac{1}{P(x)}$$

Ecuación 5 Cálculo de probabilidad de ocurrencia anual

Donde:

- $T(x)$ es el periodo de retorno en años

Ponderación del Daño:

A cada nivel de intensidad de viento se le asignó un peso basado en la clasificación del daño potencial que podría ocasionar. Este peso refleja la severidad del impacto esperado y se utilizó para ajustar la probabilidad de ocurrencia de cada nivel de viento. La decisión de asignar pesos diferenciados a los distintos niveles de intensidad del viento en esta evaluación de peligrosidad se fundamenta en hallazgos empíricos obtenidos de estudios previos, particularmente en la investigación titulada "Rapid Damage Prediction and Risk Assessment for Tropical Cyclones at a Fine Grid in Guangdong Province, South China" (Wang et al., 2021). En dicho estudio, se demostró que la relación entre la velocidad máxima del viento y el porcentaje de población afectada sigue una tendencia exponencial, lo que indica que los daños aumentan de manera desproporcionada con el incremento en la intensidad del viento (27) como se muestra en la *ilustración 3*

A partir de este patrón, se adoptó un esquema de ponderación no lineal para los niveles de viento, asignando pesos de 1, 2, 3, 7, y 15 a los niveles de intensidad del viento 1 a 5, respectivamente. Esta asignación refleja la comprensión de que, aunque los eventos de viento más intenso son menos frecuentes, su capacidad de causar daño es significativamente mayor. La progresión exponencial observada en el estudio de Guangdong justifica el uso de pesos más altos para los niveles de viento más fuertes, alineando la evaluación del riesgo con los patrones de daño observados en la práctica.

alin

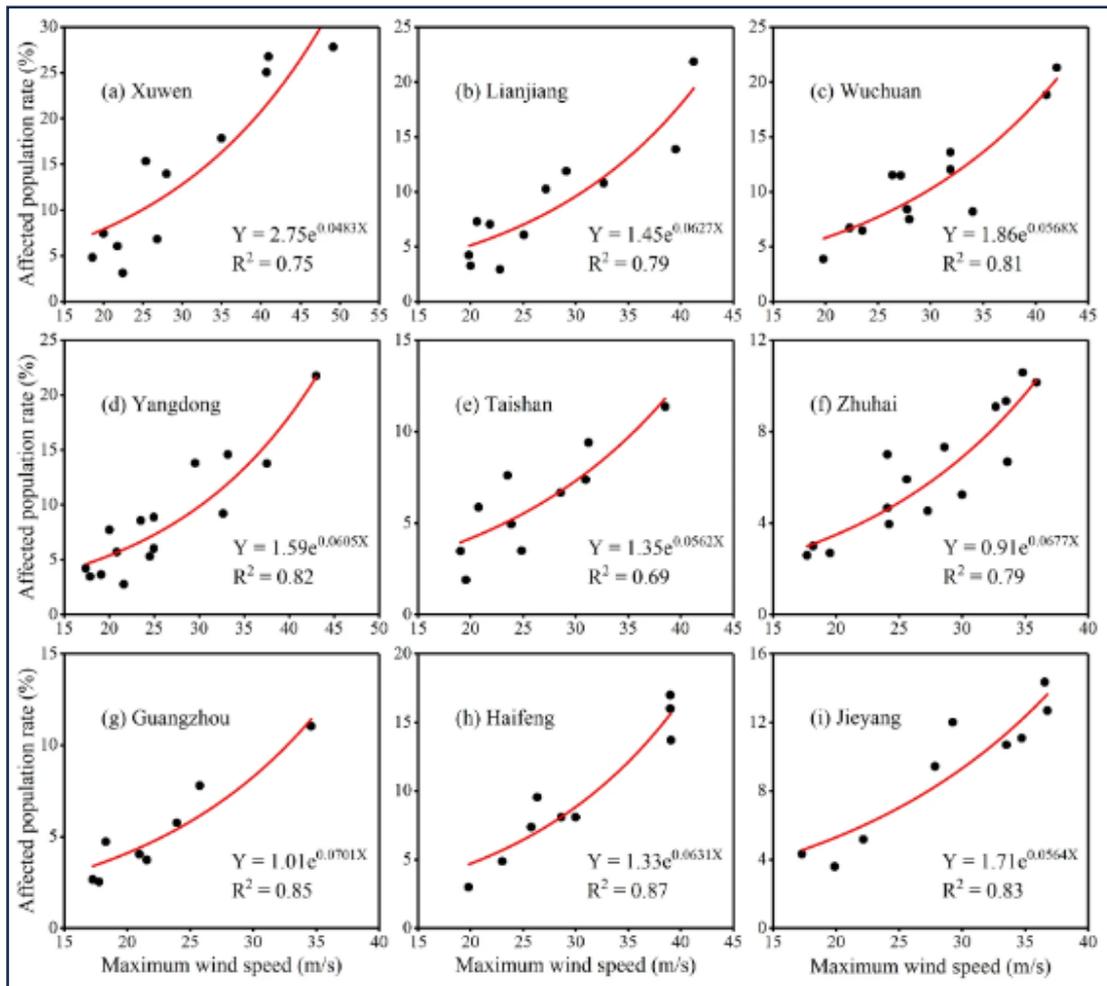


Ilustración 8 Tasas de pérdidas para la población afectada ajustadas a la velocidad máxima del viento (MWS) mediante una función exponencial en nueve distritos costeros de sur a norte en la provincia de Guangdo

Determinación del Peligro Compuesto:

Las probabilidades de ocurrencia anual de cada nivel de viento, ponderadas por el daño, se combinaron para obtener un valor compuesto que refleja el peligro total asociado a los diferentes niveles de intensidad del viento. Este valor compuesto se denomina peligro ponderado.

Cálculo del Índice de Nivel de Riesgo:

El peligro ponderado se multiplicó por la exposición total, representada por la población total en la región de estudio. Esta operación permitió calcular el índice de nivel de riesgo, que cuantifica el riesgo al que está expuesta la población en función tanto de la amenaza como de la exposición.

De esta manera el análisis de peligrosidad permite determinar las áreas que se verían afectadas por los potenciales CT que pudiera tocar tierra en las zonas de estudio.

5.7 Evaluación de la Vulnerabilidad

Con el objetivo de desarrollar un análisis con una perspectiva centrada en el ser humano, se han considerado dos aspectos fundamentales que influyen en la vulnerabilidad de las poblaciones. Por un lado, se analiza la **dimensión humana**, que incluye las características intrínsecas de la población, como las edades sensibles y las capacidades motrices. Estos factores son determinantes en la capacidad de las personas para enfrentar el evento adversos antes, durante y después

Por otro lado, dentro de esta misma perspectiva humana, se examina la **dimensión de desventaja económica**, que se enfoca en cómo las limitaciones financieras, desempleo y la falta de acceso a oportunidades económicas pueden agravar esta vulnerabilidad. Estas limitaciones no solo aumentan el riesgo de daños, sino que también dificultan la recuperación, perpetuando las desigualdades y poniendo en riesgo además futuras generaciones.

Este proceso se llevó a cabo 2 etapas importantes:

- (i) El establecimiento, cálculo y clasificación de indicadores
- (ii) La construcción de índices y modelos de vulnerabilidad.

Después de consultar a expertos, y leer diferentes investigaciones para tener la perspectiva de los distintos puntos de vista y enfoques a la vulnerabilidad Humana, todos incidieron en lo mismo, la vulnerabilidad Social- Económica es un factor determinante para la susceptibilidad de las comunidades frente a los impactos negativos de los eventos naturales” medidas que respaldan los indicadores de Vulnerabilidad Humana valorados en este estudio. Ahora, si bien se estableció como principal marco de referencia el trabajo de investigación “Socio-Economic Indexes For Areas: Getting a Handle on Individual Diversity Within Areas” en español “Índices Socioeconómicos para Áreas: Entendiendo la Diversidad Individual Dentro de las Áreas” (28) y esto dado que el objetivo de la investigación es analizar los riesgos de los ciclones tropicales y su relación con la vulnerabilidad humana, los índices SEIFA proporcionan una herramienta crucial con un marco sólido para comprender y medir las variaciones socioeconómicas entre diferentes regiones, lo cual es esencial para evaluar cómo factores como el ingreso, la educación, el empleo y las condiciones de vivienda influyen en la capacidad de las comunidades para prepararse, resistir y recuperarse de los eventos ciclónicos. Con lo que permitirá

identificar áreas donde la combinación de desventajas socioeconómicas aumenta la exposición y reduce la capacidad de recuperación ante estos desastres naturales.

Se seleccionaron 4 indicadores que se consideraron representativos para la evaluación representativa. Para analizar la dimensión humana se tomó en cuenta las capacidades de respuesta de la población frente a un posible evento, para lo que se consideró los siguientes indicadores.

- Vulnerabilidad Familiar y Edades Sensibles (ID)(30%)- Este indicador a su vez se forma por dos subindicadores “Las familias con menores de 15 dependientes” y “Personas menores de 15 y mayores de 60”. Y esto debido a que se considera que estos grupos comparten un denominador común en términos de vulnerabilidad: Ambos grupos dependen en gran medida del apoyo y recursos externos para su bienestar, especialmente en situaciones de crisis como los CT y además por investigaciones han demostrado que la estructura familiar juega un papel crítico en la determinación de capacidad de respuesta y recuperación de desastres

I) Familias con menores de 15 años dependientes (60%) son uno de los grupos más vulnerables en situaciones de desastres debido a su dependencia emocional y física ya que dependen de sus cuidadores para la seguridad y las decisiones importantes. En un contexto de desastre como un CT, estos menores requieren protección adicional, y la capacidad de la familia para proporcionar esta protección es crucial. Esto hace que las familias con menores de 15 años dependientes sean una unidad crítica de análisis en la evaluación de vulnerabilidad.

II) Personas menores de 15 y mayores de 60 años (40%)

Las personas adultas mayores de 60 años también son altamente vulnerables debido a factores como posibles enfermedades crónicas, y la dependencia de medicamentos o atención médica regular. Al considerar tanto a los mayores de 60 como a los menores de 15 en un solo subindicador, se captura una amplia gama de vulnerabilidades que podría agravar el riesgo en situaciones de desastre.

Finalmente se escoge este enfoque con la finalidad de reconocer reflejar una comprensión profunda de las interacciones entre edad, estructura familiar y vulnerabilidad.

- Bajo nivel de inglés (IA)-(10%) El dominio del inglés es un factor crítico en la capacidad de las personas para acceder a información vital durante situaciones de emergencia, y no sólo eso, sino que, además, después de un desastre, las personas con un bajo nivel de inglés pueden quedar marginadas en los procesos de recuperación debido a la falta de acceso a información sobre ayudas disponibles, trámites burocráticos, o servicios de apoyo psicológico y social. Lo que significa que en un contexto como Australia, donde el inglés es el idioma principal utilizado en las comunicaciones oficiales, aquellos con un bajo nivel de inglés podrían enfrentar una barrera significativa en situaciones de emergencia, como la llegada de un CT.

En concordancia con Estudios Previos (29), el bajo nivel de acceso a servicios esenciales como la comunicación en inglés se trata como un factor de vulnerabilidad, y más aún en el contexto australiano considerado como un país multicultural, entonces se ha considerado esencial incluir este indicador, aunque de menor peso en comparación con otros indicadores como el socioeconómicos. Se concluyó entonces que, a pesar de los avances en tecnología y accesibilidad digital, el dominio del inglés sigue siendo esencial especialmente en contextos de emergencia donde la claridad y rapidez de respuesta son cruciales, por lo que se asignó un 10% de peso a este indicador.

- Personas con movilidad reducida (IM)-(20%) Esta vulnerabilidad se debe a una serie de factores, que incluyen limitaciones en la movilidad, dependencia de dispositivos médicos y equipos de movilidad como sillas de ruedas que requieren espacio adicional y planificación durante la evacuación, y la necesidad de apoyo adicional para la evacuación y la supervivencia en entornos de emergencia. Además de la capacidad de recuperarse después de un desastre también ya que pueden tener dificultades para acceder a la asistencia necesaria o para regresar a su hogar si este ha sido dañado o no es accesible lo que agrava aún más su vulnerabilidad.

La literatura muestra de manera consistente que las personas con discapacidades son desproporcionadamente afectadas por desastres naturales. Los estudios indican que tienen tasas más altas de mortalidad, lesiones, y pérdida de hogar debido a su mayor vulnerabilidad y las barreras que enfrentan durante todas las fases del ciclo de gestión de desastres (preparación, respuesta, recuperación).

Entonces, en Coherencia con la Realidad Contextual e un contexto como el australiano, donde los ciclones tropicales pueden ser particularmente devastadores, asegurar que las necesidades de las personas con discapacidades sean consideradas en la planificación y respuesta a desastres es fundamental para reducir su vulnerabilidad y mejorar su resiliencia. Por lo que este indicador ha sido enfocado con un peso del 20% del Índice Total de Vulnerabilidad Humana.

➤ **Desventajas Socioeconómica (IE) (40%)**

La desventaja socioeconómica es un determinante clave de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales. Las personas y familias que enfrentan desventajas socioeconómicas, tales como bajos ingresos, desempleo o falta de educación superior, tienen menos recursos y capacidades para prepararse, responder y recuperarse de un desastre como un ciclón tropical. Este indicador abarca una amplia gama de factores que, en conjunto, reflejan la capacidad reducida de estas poblaciones para mitigar el impacto de los desastres y reconstruir sus vidas después de un evento catastrófico. Al dividir este indicador en tres subíndices específicos iii) Desempleo, iv) Ingresos Bajos, y v) Personas entre 25 y 45 años sin estudios superiores — se capturan aspectos críticos de la desventaja que, juntos, proporcionan una visión integral de la vulnerabilidad socioeconómica.

iii) Desempleo (30%)

En Australia, las personas desempleadas enfrentan una inestabilidad económica significativa, que limita su capacidad para prepararse adecuadamente ante desastres naturales como los ciclones tropicales. La falta de ingresos estables dificulta su capacidad para ahorrar, realizar mejoras en sus viviendas para resistir mejor los impactos de un ciclón, adquirir seguros de hogar o de salud, y acceder a recursos esenciales como alimentos de emergencia y suministros médicos. Aunque el gobierno australiano ofrece apoyo financiero a través de programas como el *JobSeeker Payment*, (30) estos beneficios pueden no ser suficientes para cubrir todas las necesidades de preparación y recuperación. La dependencia de estos ingresos gubernamentales deja a las personas desempleadas con menos opciones para mitigar el impacto de un ciclón, incrementando su vulnerabilidad.

iv) Ingresos Bajos (40%) Los hogares con ingresos bajos tienen dificultades para acceder a recursos básicos necesarios para la

preparación ante desastres, como alimentos no perecederos, medicinas, y dispositivos de seguridad. Esto los deja en una posición más frágil tanto durante el evento como en la fase de recuperación, llas familias con ingresos bajos pueden tener problemas para pagar reparaciones, reemplazar bienes perdidos o simplemente continuar con su vida cotidiana después de un desastre, ciclo que puede perpetuar un ciclo de pobreza y vulnerabilidad.

v) Personas entre 25 y 45 años sin estudios superiores (30%)

Las personas entre 25 y 45 años sin estudios superiores suelen tener menos oportunidades de empleo bien remunerado, lo que contribuye a ingresos bajos y, por ende, a una mayor vulnerabilidad económica. Este grupo también puede tener menos acceso a información y recursos educativos que podrían ayudarles a entender mejor los riesgos y a prepararse adecuadamente y esto a su vez correlaciona con trabajos menos estables o informales, lo que aumenta la vulnerabilidad al riesgo económico y a la exposición a situaciones de trabajo precarias, que pueden verse exacerbadas durante un desastre.

Respaldo en la Literatura de estos indicadores

Los estudios (31) (32) (33) han demostrado que cada uno de estos subíndices — desempleo, Ingresos bajos, y Falta de educación superior — está estrechamente relacionado con mayores niveles de vulnerabilidad frente a los desastres naturales. La investigación indica que estos factores, de manera individual y combinada, amplifican la incapacidad de las personas para prepararse, responder y recuperarse efectivamente después de un desastre.

En resumen, se tiene un total 7 indicadores para el caracterizar el índice Humano, se muestran a continuación en la tabla 5

Vulnerabilidad Familiar y Edades Sensibles (30%)	Personas <15&>60 (60%)	Censo de población y vivienda	Oficina Australiana de Estadísticas	Área de estadística 2(SA1)	2021
	Familias con niños <15 (40%) dependientes	Censo de población y vivienda	Oficina Australiana de Estadísticas	Área de estadística 2(SA1)	2021

Bajo nivel de inglés (10%)	-	Censo de población y vivienda	Oficina Australiana de Estadísticas	Área de estadística 2(SA1)	2021
Personas con movilidad reducida (20%)	-	Censo de población y vivienda	Oficina Australiana de Estadísticas	Área de estadística 2(SA1)	2021
Desventaja socioeconómica (40%)	Desempleados (30%)	Censo de población y vivienda	Oficina Australiana de Estadísticas	Área de estadística 2(SA1)	2021
	Ingresos Bajos (40%)	Censo de población y vivienda	Oficina Australiana de Estadísticas	Área de estadística 2(SA2)	2021
	Personas entre 25 y 45 sin estudios (30%)	Censo de población y vivienda	Oficina Australiana de Estadísticas	Área de estadística 2(SA2)	2021

Tabla 5 Total Indicadores para caracterizar en Índice de vulnerabilidad Humana

Finalmente, la construcción del Índice de Vulnerabilidad Humano se realiza mediante la agregación ponderada de los indicadores, previamente normalizados mediante el método min-máx. habiéndose seguido el flujo de trabajo de Ilustración 5, para clasificarlos según el nivel de Vulnerabilidad del 1 al 5, considerándose el 5 como el más vulnerable, se utilizan los rangos que se muestran en la *tabla 6* establecidos por Yuriy Kuleshov en una de sus investigaciones (34)

Clase	Muy bajo (1)	Bajo (2)	Moderado (3)	Severo (4)	Extremo (5)
Valor	0-0.20	0.21-0.30	0.31-0.50	0.51-0.70	0.71-1.

Tabla 6 Valores de Indicadores de Vulnerabilidad y su clasificación

Se decidió emplear estos rangos debido a su relevancia directa para el área de estudio en Queensland que se ha desarrollado en esta tesis, donde se desarrollan fenómenos similares a los abordados en la investigación. En su artículo "Tropical cyclone multi-hazard risk mapping for Queensland, Australia," los autores desarrollaron una metodología robusta para evaluar y mapear el riesgo asociado a los ciclones tropicales en esta región, identificando amenazas como vientos extremos, inundaciones y marejadas ciclónicas, y determinando áreas vulnerables mediante la categorización de vulnerabilidad.

El uso de estos rangos asegura una evaluación precisa de la Vulnerabilidad y riesgo en Queensland, ya que están validados y son específicos para la región. Además, permite mantener la consistencia con estudios previos, facilitando comparaciones y asegurando que los resultados sean aplicables a la planificación y gestión de riesgos. De este modo se garantiza la comparabilidad y relevancia de los resultados de este estudio en el contexto de la gestión de riesgos ante ciclones tropicales.

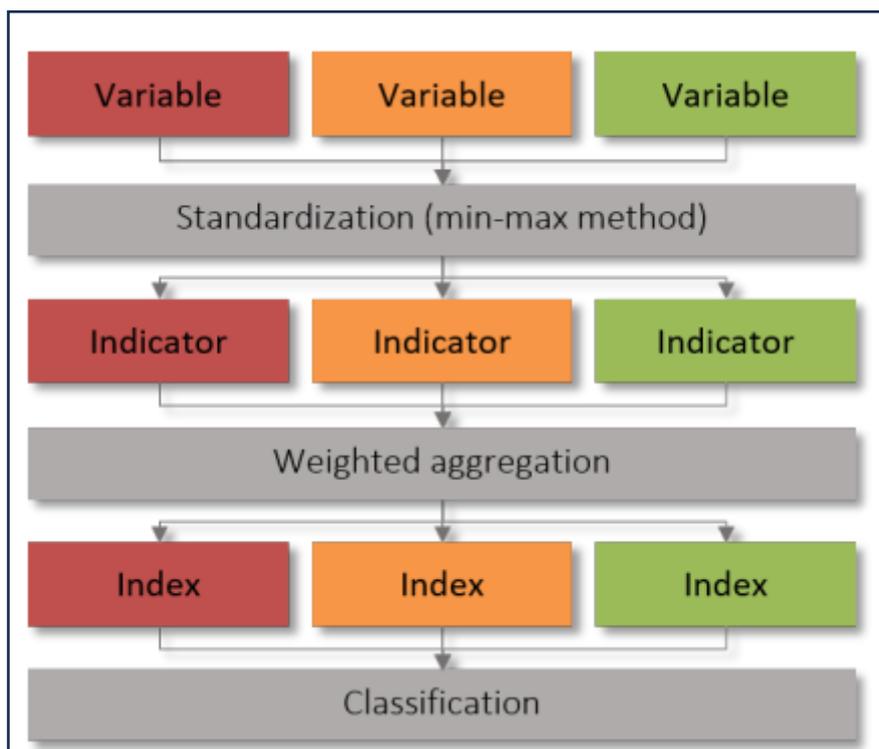


Ilustración 9 Estructura de la evaluación integrada del riesgo basada en indicadores – Asignación de pesos, Fuente IH Cantabria 2020.

5.8 Evaluación de Riesgo

La evaluación del riesgo de desastres naturales, como los ciclones tropicales, es una cuestión interdisciplinaria que abarca tanto las ciencias naturales como las sociales. Por ello, esta tesis se centró en el **Índice Social-Humano**, que permite una comprensión más holística del riesgo.

Después de analizar detalladamente la peligrosidad y la vulnerabilidad social-humana, hemos clasificado el riesgo considerando cómo estos factores interactúan en el contexto de los ciclones tropicales. Esta clasificación no solo refleja la amenaza natural, sino también cómo las características socioeconómicas y humanas influyen en la exposición y

la capacidad de recuperación de las comunidades afectadas. Para calcular los índices de exposición y vulnerabilidad, se utilizó una ponderación igual para cada indicador que se muestra en la tabla utilizada en la investigación “Assessing Tropical Cyclone Risk in Australia Using Community Exposure–Vulnerability Indices” (35) que se centra e centra en la evaluación del riesgo de ciclones tropicales en Australia mediante la combinación de indicadores de exposición y vulnerabilidad en los dominios social, de infraestructura y ambiental con el caso específico del ciclón Debbie en 2017 y que como resultado hace clasificación de riesgo que categoriza los valores en cinco niveles con los rangos respectivos que se muestran en la *tabla 6*.

Clase	Muy bajo	Bajo	Moderado	Fuerte	Muy Fuerte
Valor	0-0.20	0.21-0.40	0.41-0.60	0.61-0.80	0.80-1

Tabla 7 Clases de riesgo de ponderación de Riesgo

6 RESULTADOS

Resultados por LGA

6.1 Cairns-

Exposición

En Cairns, el 31.82% de las 22 ciudades que conforman esta LGA presentan un nivel de exposición alta. Entre las ciudades que se destacan por su nivel de exposición están “Clifton Beach (11,789 personas), Trinity Beach-Smithfield (13,784), Redlynch (16,791), Kanimbla (9,963), Cairn City (1,257), Gordonvale-Trinity (9,838), y Edmonton (11,409)” . En conjunto, estas áreas representan el 51.33% de la población total.

Adicionalmente el de las ciudades representan un nivel medio Alto siendo estas Whitfield-Edge Hill (8,353 personas), Earlville-Bayview Heights (8,376), Westcourt-Bungalow (6,519), Mount Sheridan (8,678), y Bentley Park (8,360), representando el 24% de la población total.

Por otra parte, hay ciudades con un nivel de exposición medio, como Babinda (4,568 personas), además de White Rock, Woree, Manoora, Manunda, Brinsmead, y Freshwater-Stratford, que en conjunto representan el 21% de la población.

En Cairns no hay ninguna zona de Exposición que sea baja como se muestra en la *ilustración 10*, lo que se traduce en un porcentaje de exposición medio bajo del 3,67% de la población total.

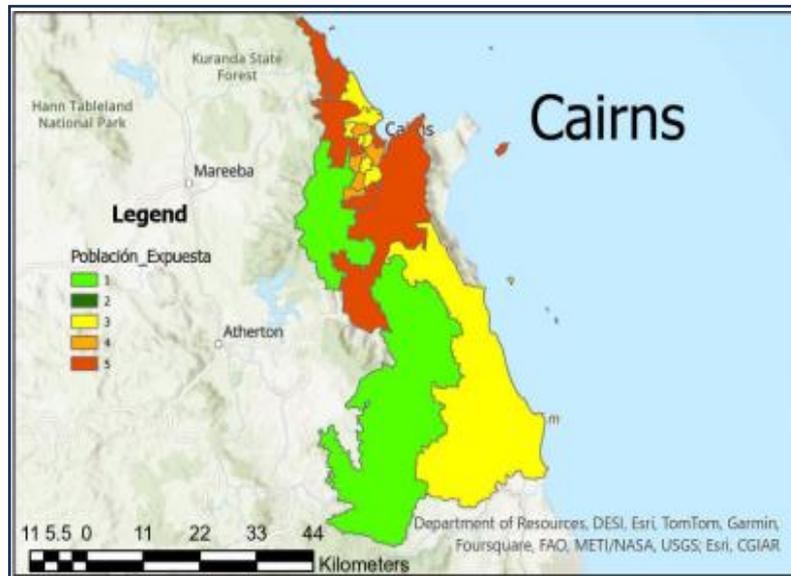


Ilustración 10 Mapa de Exposición Humana Cairns

Vulnerabilidad

En el estudio de vulnerabilidad se identificó a Trinity Beach como la ciudad más vulnerable como se muestra en la *ilustración 11* dentro de la región. No obstante, los factores que contribuyen a la vulnerabilidad social se aplican a todas las ciudades del área. El indicador principal que afecta al índice de vulnerabilidad social es la vulnerabilidad familiar y las edades sensibles (niños y personas mayores) con un 58%, seguido por la desventaja socioeconómica con un 29%, la movilidad reducida 9% y, finalmente, el dominio limitado del inglés con 4%. Como se muestra en la *ilustración 12*

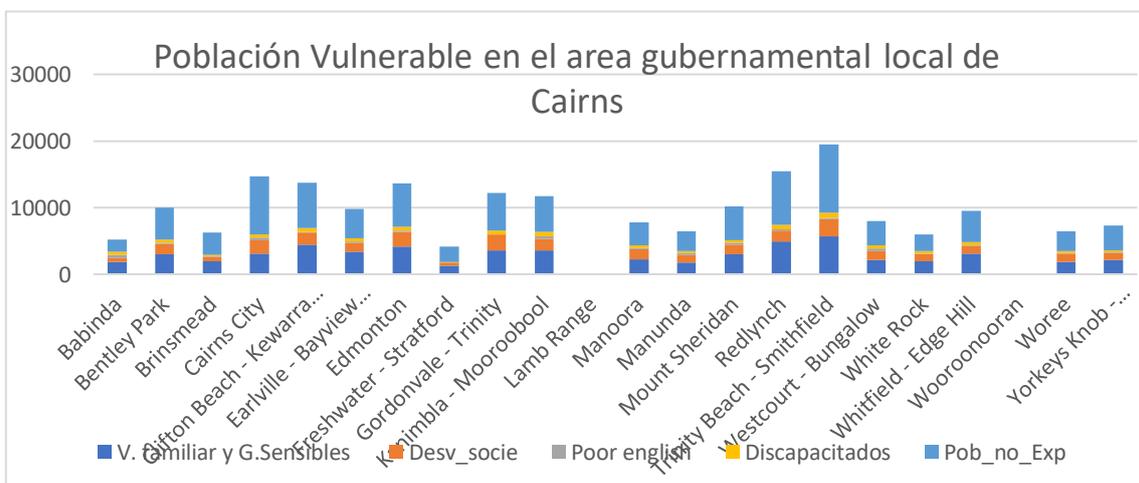


Ilustración 11 Distribución de la Vulnerabilidad en Cairns según sus indicadores

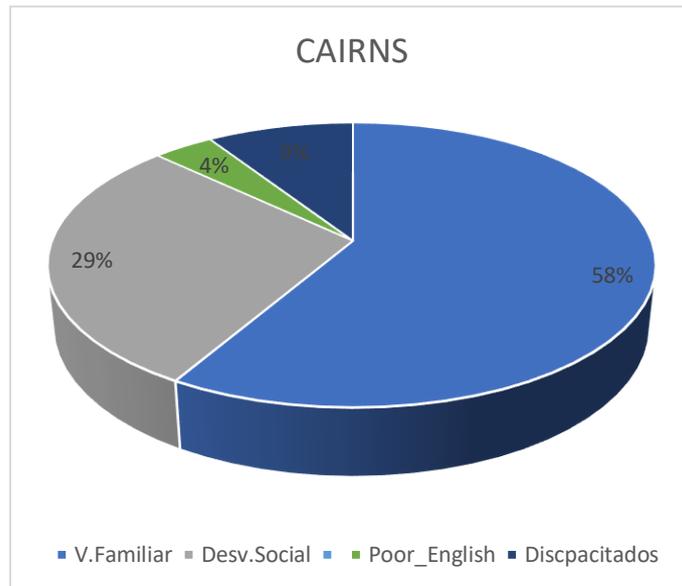


Ilustración 12 Porcentajes de influencia de indicadores en el resultando del índice Social- Cairns.

Riesgo

Como era de esperarse, las ciudades con un riesgo medio-alto son también las que presentan mayores niveles de vulnerabilidad, como es el caso de Trinity Beach y Redlynch como se muestra en la *ilustración 13* Tal como se muestra en la *ilustración 11*, ambas ciudades tienen una relación de porcentajes de indicadores de vulnerabilidad similares. Por otro lado, Cairns City, aunque presenta una alta exposición con un nivel 5 como se mostró en la *ilustración 10*, tiene una baja vulnerabilidad social, lo que reduce su riesgo global a un nivel medio. Esto se debe, en parte, a que cuenta con un mayor porcentaje de personas no vulnerables frente a la población expuesta, lo que mitiga el impacto del riesgo en comparación con otras ciudades de la región.

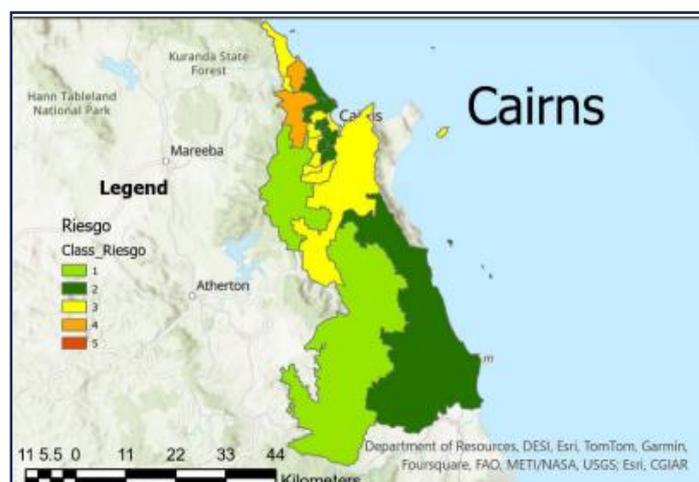


Ilustración 13 Mapa de Riesgo Social- Cairns.

6.2 Townsville

En Townsville, las ciudades con una exposición alta son Kelso (10,683 personas), Mount Louisa (10,110 personas), Kirwan West (14,944 personas), Condon (10,799 personas) y Annandale (10,116 personas). Estas 5 ciudades representan el 33.13% de la población total de Townsville, que es de 171,022 personas. Además, estas ciudades constituyen el 20.83% de las 24 ciudades que conforman el área de Townsville.

Belgian Gardens es la única ciudad en Townsville que, a pesar de estar situada en la costa, presenta una exposición baja debido a su baja densidad poblacional, con un total de 3,192 personas en su área. Además, no se registran áreas de exposición media-baja como se muestra en la *ilustración 14* los colores amarillo, naranja y rojo son los que sobresalen, lo que podría interpretarse como una tendencia a alta exposición en la región.

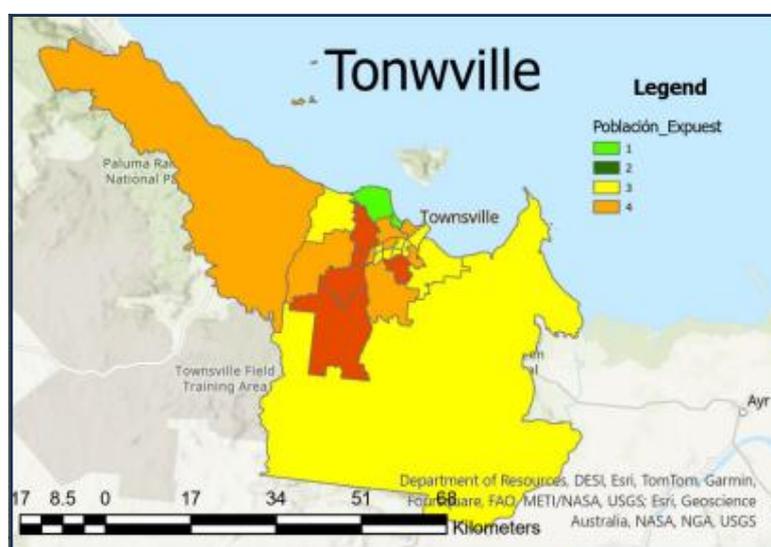


Ilustración 14 Mapa de Exposición- Townsville

Vulnerabilidad

Como se muestra en la *ilustración 15* Mount Louisa, Kirwan West, y Douglas parecen tener las poblaciones más grandes de personas vulnerables.

Annandale, Kelso, y Condon-Rasmussen también presentan cifras significativas de población vulnerable, aunque un poco menores que las ciudades mencionadas anteriormente, con valores alrededor de las 15,000 - 20,000 personas como se muestra en la *ilustración 15*

Belgian Gardens-Pallarenda tiene una población vulnerable mucho menor, lo que es coherente con su baja exposición

El indicador principal que afecta al índice de vulnerabilidad social es la vulnerabilidad familiar y las edades sensibles (niños y personas mayores) con un 58%, seguido por la desventaja socioeconómica con un 29%, la movilidad reducida 9% y, finalmente, el dominio limitado del inglés con 4%. Como se muestra en la *ilustración 16*

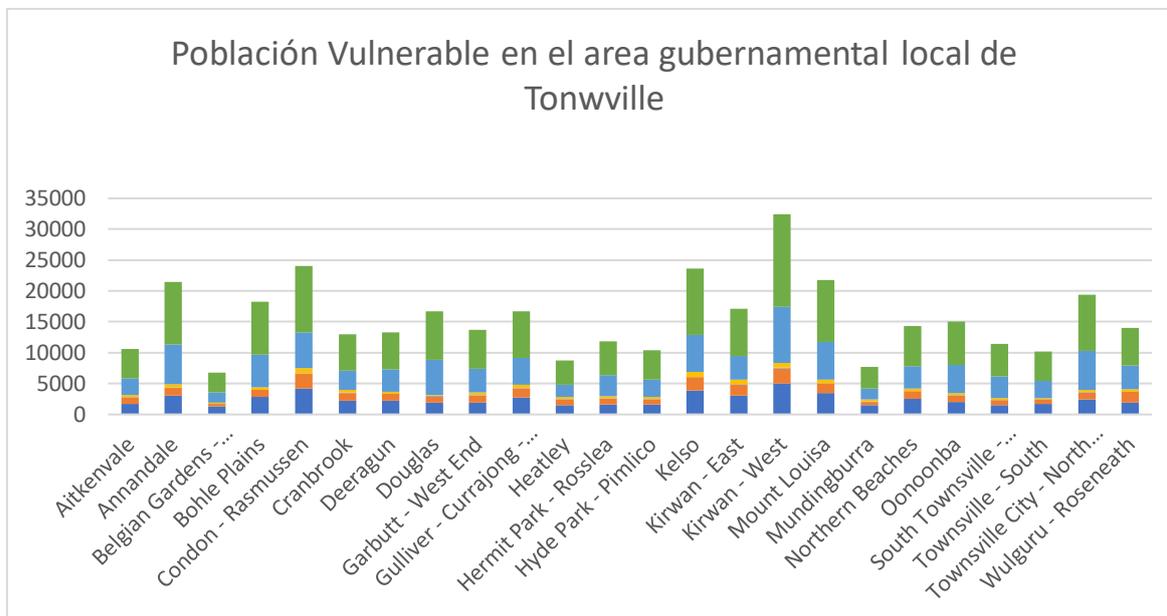


Ilustración 16 distribución de vulnerabilidad en Tonwville según sus indicadores.

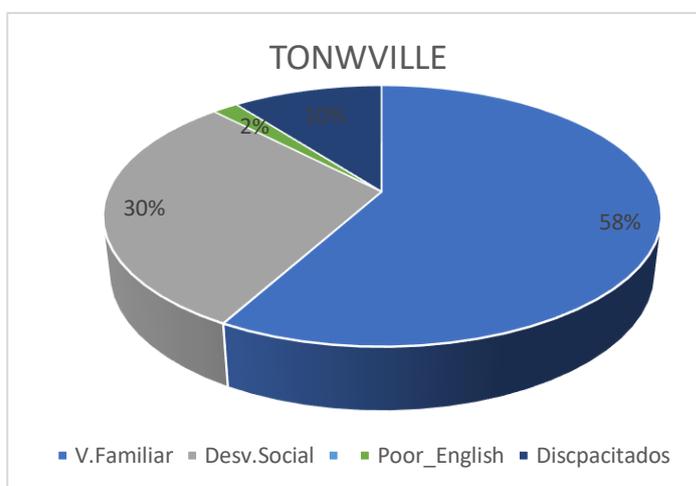


Ilustración 15 Porcentajes de influencia de indicadores en el resultando del índice Social- Tonwville

Riesgo

Kirwan West es la única ciudad que mantiene un nivel alto de riesgo, desde la exposición hasta una vulnerabilidad media-alta. A diferencia de otras ciudades, que han mostrado variaciones en su nivel de vulnerabilidad, lo que la posiciona en una situación de mayor riesgo en comparación con el resto.

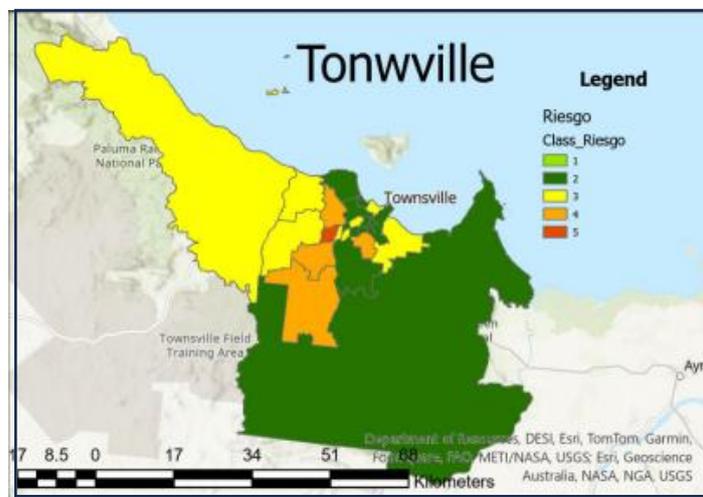


Ilustración 17 Mapa de Riesgo- Tonwville

6.3 Mackay

Exposición

Las ciudades con alta exposición (Mount Pleasant-Glenella, Sarina, Andergrove-Beaconsfield, y Eimeo-Rural View) representan el 30.81% de la población total. Las ciudades con exposición medio-alta (Seaforth-Calen, Pioneer Valley, West Mackay, South Mackay, y North Mackay) constituyen el 26.37% de la población. Las ciudades con exposición medio-baja (Mackay Harbour y Eungella Hinterland) representan apenas el 0.36% de la población total.

Estas cifras indican que más de la mitad de la población de Mackay vive en áreas de alta o medio-alta exposición. Como se muestra en la *ilustración 18*

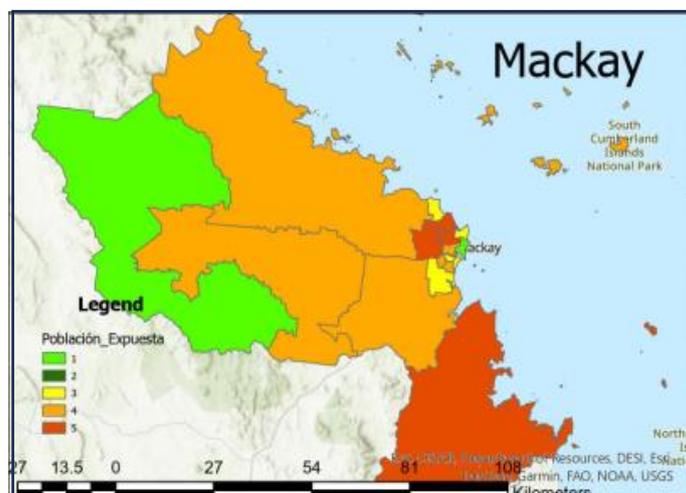


Ilustración 18 Mapa de Exposición Humana- Mackay

Vulnerabilidad

En la leyenda de la *Ilustración 17*; La serie1 representa la Vulnerabilidad familiar y edades sensibles, la serie 2 la desventaja económica, Serie 3 el bajo nivel de inglés y la serie 4 Personas con movilidad reducida.

El gráfico refleja que Andergrove no solo posee la población más alta de Mackay, sino que también concentra los niveles más altos de vulnerabilidad en todas las categorías de la ciudad, siendo la zona con mayor vulnerabilidad general. Además, muestra que los niveles más elevados de vulnerabilidad en todas las ciudades se presentan en las categorías de Vulnerabilidad familiar y edades sensibles (Serie 1) y Desventaja económica (Serie 2).

En comparación con otras áreas del gobierno local (LGA), Mackay presenta el porcentaje más alto de vulnerabilidad en las categorías de Vulnerabilidad familiar y edades sensibles, en relación con su área. *Ilustración 19*

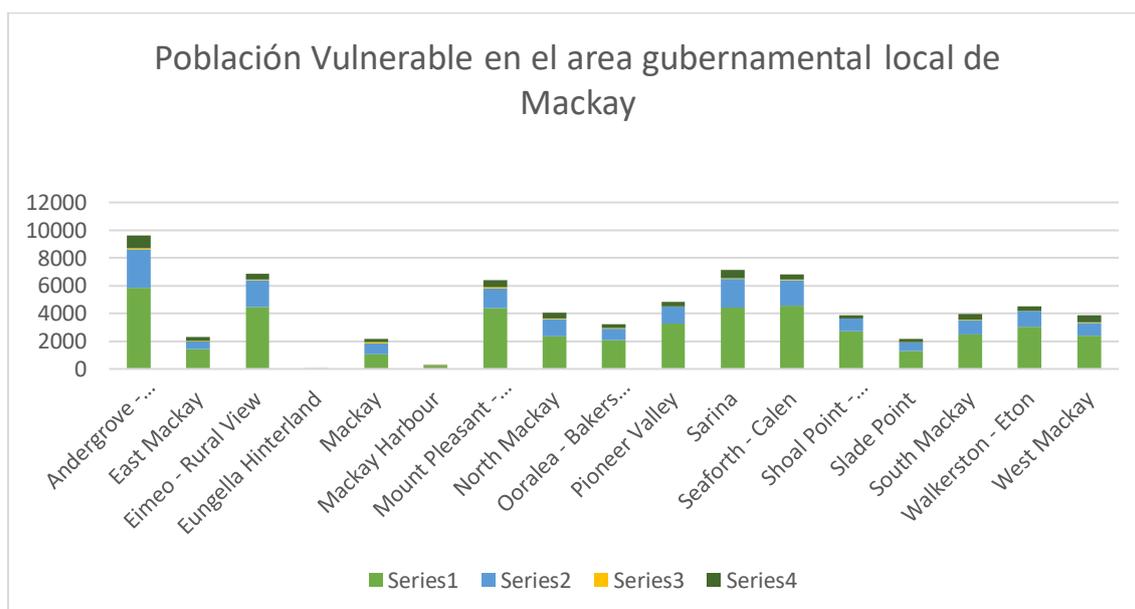


Ilustración 19 distribución de vulnerabilidad en Mackay según sus indicadores.

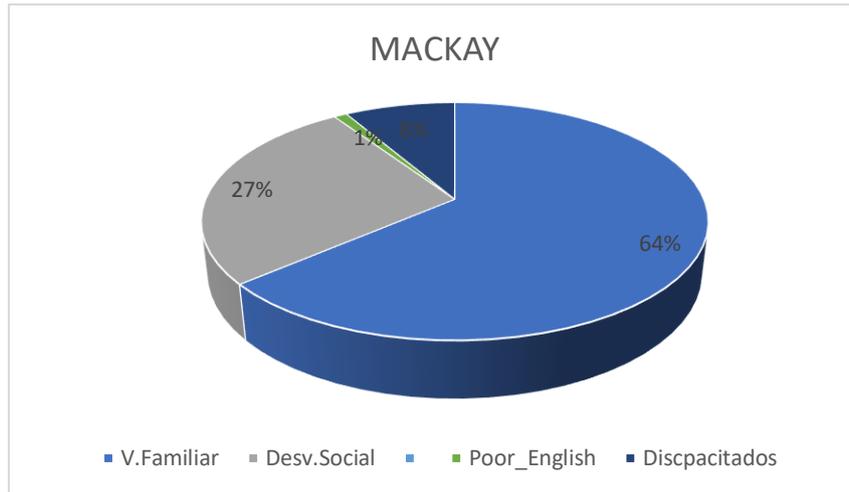


Ilustración 20 Porcentajes de influencia de indicadores en el resultando del índice Social- Mackay

Riesgo

Al evaluar el riesgo, se observa que muchas áreas disminuyen su tonalidad de color, lo que indica que, aunque inicialmente mostraban un alto nivel de exposición, su riesgo final es menor debido a su baja vulnerabilidad. Sin embargo, este no es el caso de Andergrove. Esta zona, que inicialmente presentaba una exposición elevada, mantiene un riesgo alto al ser evaluada, ya que su vulnerabilidad, como se mencionó anteriormente, es una de las sigue mostrando un riesgo significativo.

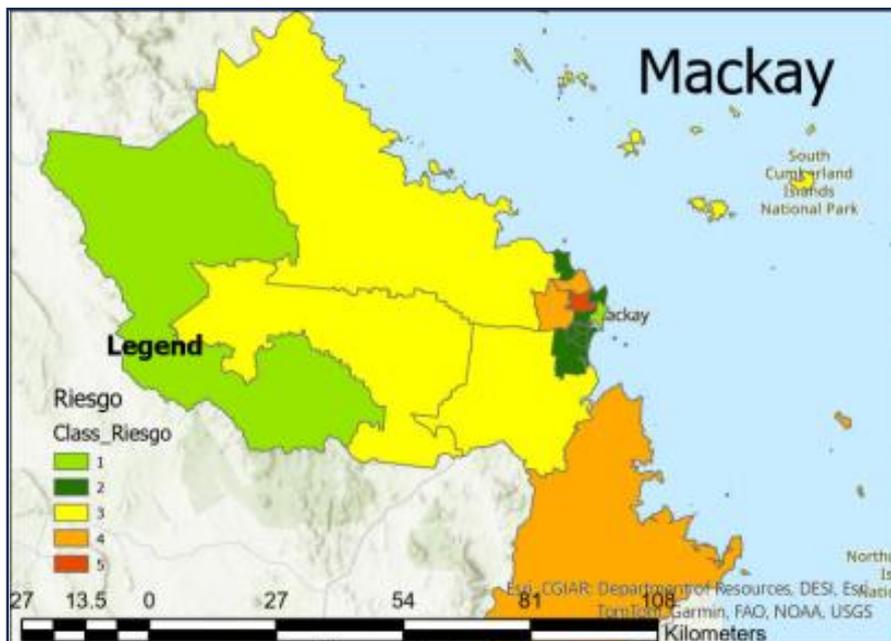


Ilustración 21 Mapa Riesgo Mackay

6.4 Rockhampton

Exposición

De la *ilustración 21* del mapa de exposición de RockHampton se deduce que las ciudades con alta exposición (Gracemere y Norman Gardens) representan el 28.17% de la población total. Las ciudades con exposición medio-alta (Parkhurst-Kawana, The Range – Allenstown, Berserker y Frenchville - Mount Archer) constituyen el 38.97% de la población.

Las ciudades con exposición media (Rockhampton City, Rockhampton – West, Lakes y Park Avenue) representan el 19.83% de la población total.

Estas cifras indican que más de la mitad de la población de la región se encuentra en áreas de alta o medio-alta exposición, tal como se refleja en los datos obtenidos.

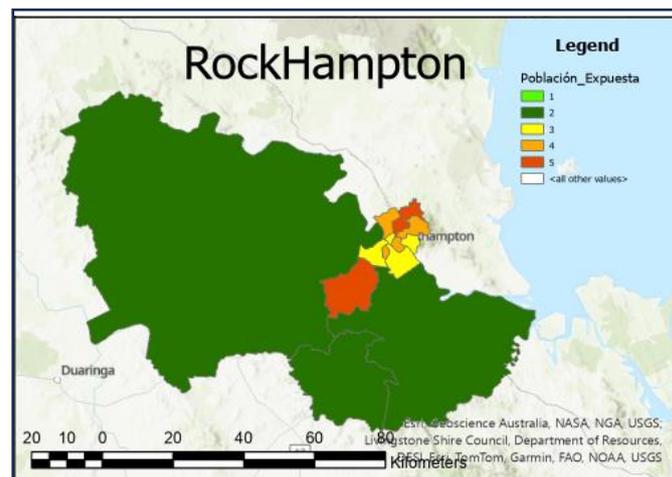


Ilustración 22 Mapa de Exposición de RockHampton

Vulnerabilidad

De la *Ilustración 22* se extrae la siguiente información;

Gracemere es la ciudad con mayor número de personas vulnerables en todas las categorías, lo que sugiere que esta área concentra una gran cantidad de población afectada por vulnerabilidades familiares, económicas y de movilidad.

Frenchville - Mount Archer, Norman Gardens y Park Avenue también presentan niveles elevados en todas las series, indicando que estas áreas tienen una alta proporción de personas con vulnerabilidades familiares y económicas, junto con un número considerable de personas con movilidad reducida.

Berserker y Parkhurst - Kawana muestran una vulnerabilidad significativa en Vulnerabilidad familiar y edades sensibles, lo que indica que, en estas áreas, la principal

preocupación es la vulnerabilidad relacionada con la estructura familiar y las edades de sus habitantes como se muestra en la ilustración 23

Las áreas como Mount Morgan y Bouldercombe tienen la menor representación en el gráfico, lo que sugiere una baja exposición a los tipos de vulnerabilidad mencionados, o simplemente menos población vulnerable en estas zonas en comparación con las otras áreas.

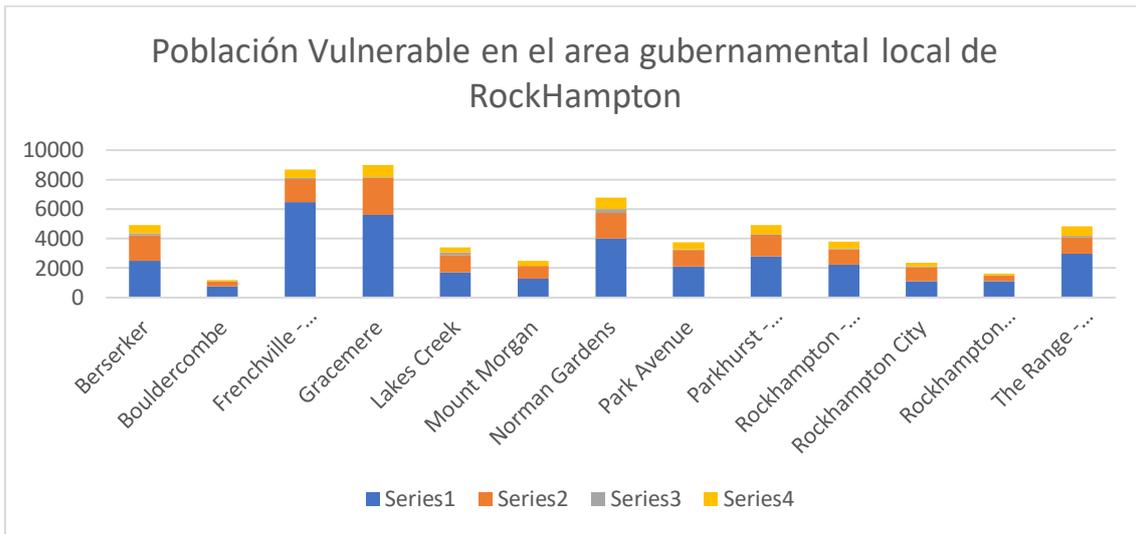


Ilustración 23 distribución de vulnerabilidad en Rockhampton según sus indicadores.

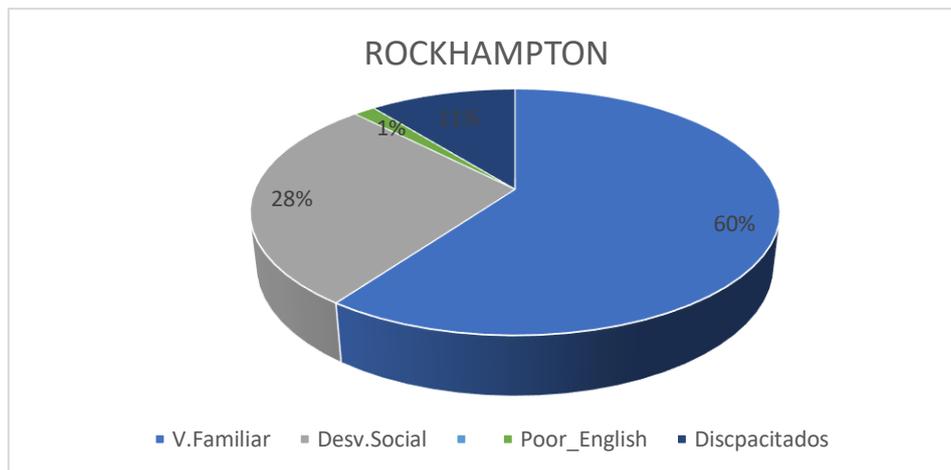


Ilustración 24 Porcentajes de influencia de indicadores en el resultando del índice Social- RockHampton

Riesgo

El mapa muestra una concentración de color en las zonas urbanas más cercanas al núcleo de Rockhampton, como es el caso de Gracemere y Norman Gardens, que presentan un riesgo más elevado. Por otro lado, áreas como Parkhurst – Kawana, The Range – Allenstown, Berserker y Frenchville - Mount Archer, aunque muestran un riesgo moderado, dejan en evidencia la mayor vulnerabilidad de estas zonas en comparación con otras áreas menos urbanizadas.

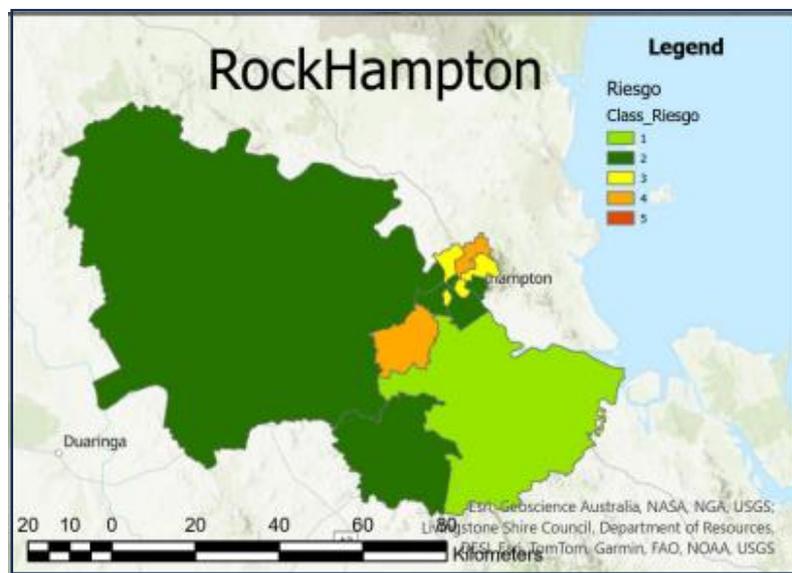


Ilustración 25 Mapa de Riesgo - Rockhampton

6.5 Bundaberg

Exposición

Las ciudades con alta exposición (Bundaberg Region - South, Walkervale - Avenell Heights y Bargara - Burnett Heads) representan el 41.09% de la población total.

Las ciudades con exposición medio-alta (Bundaberg Region – North, Bundaberg North - Gooburrum y Millbank - Avoca) constituyen el 24.32% de la población.

Las ciudades con exposición medio-baja (North Burnett) representan apenas el 0.02% de la población total.

El resto de las ciudades, que representan el 34.57% de la población, se encuentra en áreas de exposición media. Estas cifras indican que más de la mitad de la población de Bundaberg vive en áreas de alta o medio-alta exposición, de acuerdo con los datos obtenidos

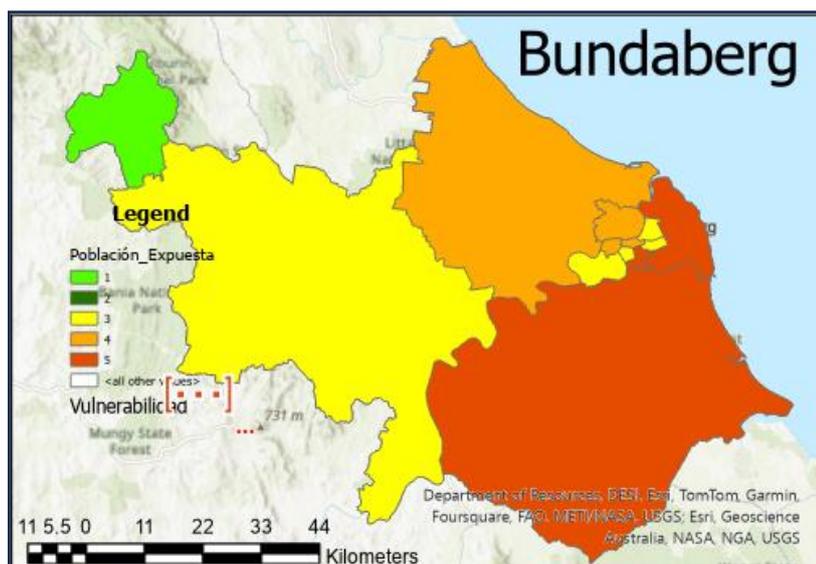


Ilustración 26 Mapa de Exposición - Bundaberg

Vulnerabilidad

Bargara es la ciudad que presenta los niveles más altos de vulnerabilidad general, con una concentración significativa en las Series 1 (Vulnerabilidad familiar y edades sensibles) y 2 (Desventaja económica). Esto indica que en esta área hay una mayor proporción de personas afectadas por factores familiares y económicos como se muestra en la ilustración 27

Walkervale y Bundaberg (varios sectores) también tienen una alta representación en todas las categorías, con un enfoque importante en la desventaja económica (Serie 2) y la vulnerabilidad familiar (Serie 1). Estas áreas parecen ser zonas con altos niveles de exposición en cuanto a la vulnerabilidad socioeconómica.

Svensson Heights y Millbank muestran niveles moderados de vulnerabilidad en todas las categorías, con un equilibrio entre las series, lo que sugiere una exposición más moderada pero presente en todas las áreas de vulnerabilidad.

Gin Gin y North Burnett tienen niveles relativamente bajos en todas las series, lo que sugiere que, comparado con otras áreas, tienen una menor proporción de población afectada por vulnerabilidades significativas. La Serie 1 (Vulnerabilidad familiar y edades sensibles) es consistentemente alta en todas las áreas, lo que subraya la importancia de esta vulnerabilidad en la región, siendo uno de los principales factores a abordar en las políticas locales.

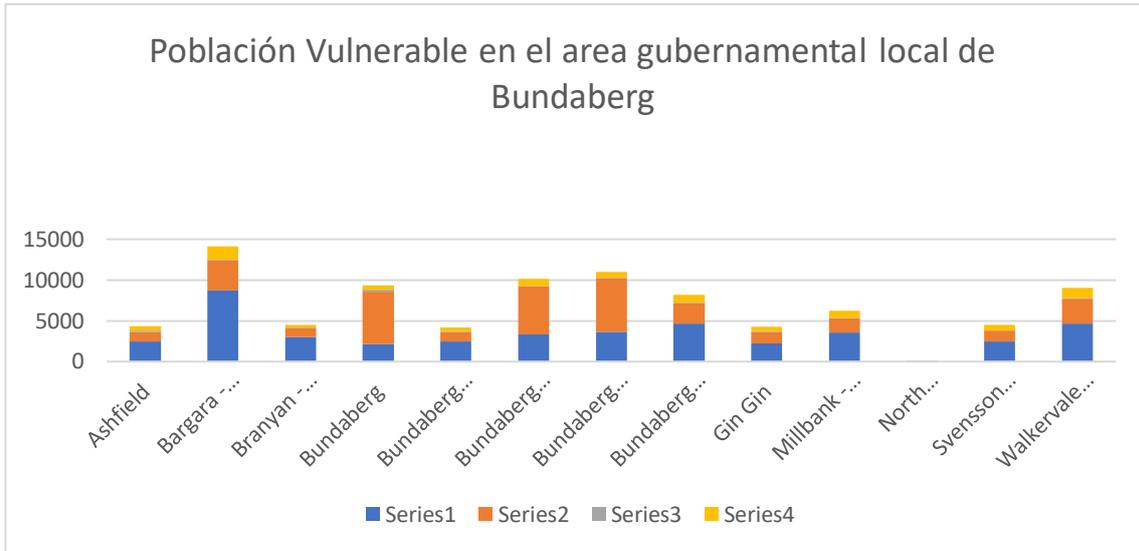


Ilustración 27 distribución de vulnerabilidad en Bundabergn según sus indicadores

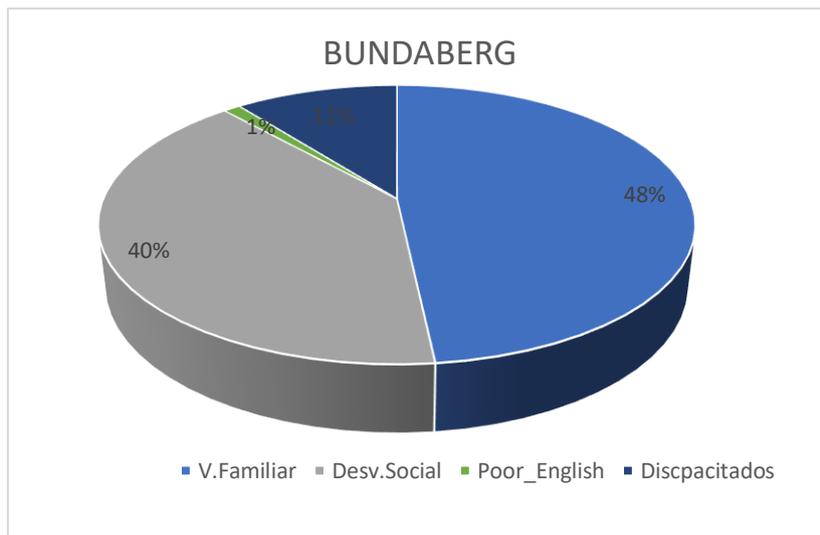


Ilustración 28 Porcentajes de influencia de indicadores en el resultado del índice Social- Bundaberg

Riesgo

Bundaberg representa un riesgo medio alto a alto en las áreas urbanas y el núcleo central, como es el caso de “Bundaberg Region y Bargara” que como se vio anteriormente están influenciadas principalmente por los altos porcentajes del V. familiar y Desventaja Económica

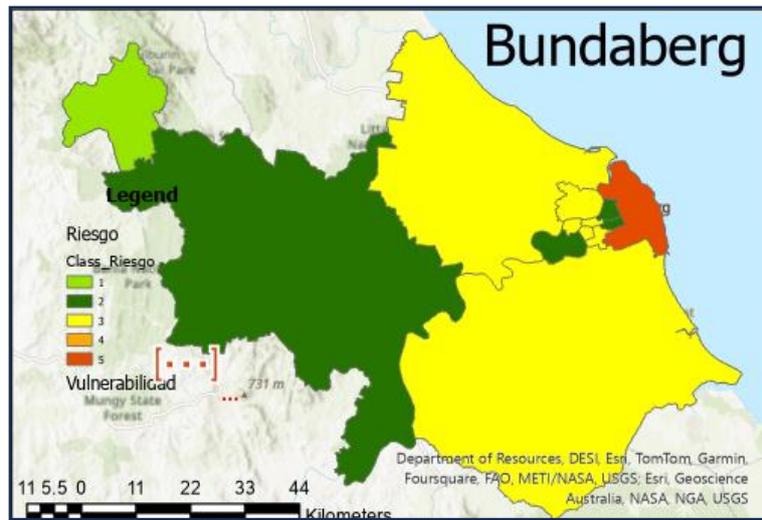


Ilustración 29 Mapa Riesgos- Bundaberg

7 RESULTADOS GENERALES

Los resultados del índice de vulnerabilidad revelan una predominancia de áreas con vulnerabilidad media a baja frente a ciclones tropicales en los cinco LGA analizados. Sin embargo, se identificaron tres zonas específicas: Cairns, Mackay y Bundaberg, con vulnerabilidad media-alta y alta, respectivamente. En general, se observa una resiliencia moderada, donde las áreas costeras y urbanas presentan mayor vulnerabilidad debido a la densidad poblacional, mientras que las áreas interiores, con menor densidad, tienen una vulnerabilidad significativamente menor.

Los indicadores con mayor influencia en el índice de vulnerabilidad son "Familia y Edades Sensibles" y "Desventaja Socioeconómica", con un 57.6% y 30% de peso, respectivamente. Dentro del índice de desventaja socioeconómica, el subíndice dominante en cuatro de los cinco LGA es el de "Personas entre 25 y 45 años sin estudios superiores", seguido de "Bajos ingresos" y "Desempleo". Existe una relación directa entre la falta de educación superior y los ingresos bajos, dado que la primera influye directamente en la probabilidad de bajos ingresos. En cuanto a la exposición, los mapas obtenidos muestran, como era de esperarse, que las áreas con mayor densidad poblacional se encuentran en las zonas costeras. Las ciudades principales, como Cairns city, Townsville city, Mackay city, Bundaberg city y Rockhampton city, presentan los valores más altos de exposición. Se observa una tendencia predominante en la que la exposición disminuye gradualmente desde la costa (con altos niveles de exposición) hacia las áreas

interiores (con niveles medios o bajos). Cairns encabeza la lista en cuanto a exposición, seguida por Townsville, Mackay, Bundaberg y, por último, Rockhampton. Este último, al ser un LGA interior en la costa noreste, muestra menores densidades poblacionales en comparación con las ciudades costeras.

8 DISCUSIÓN

8.1 Análisis crítico:

Comparación de los resultados con estudios previos.

El estudio de referencia 'Tropical cyclone multi-hazard risk mapping for Queensland, Australia' aborda la evaluación de riesgos de múltiples peligros asociados a los ciclones tropicales en el estado de Queensland. En este trabajo se implementó una metodología de mapeo a gran escala que integra múltiples factores de riesgo, como la exposición física, natural e infraestructura y la vulnerabilidad social, con el fin de identificar las áreas de mayor riesgo en la región. Este enfoque ha servido como base para la presente investigación, aunque se han realizado modificaciones significativas en términos de resolución geográfica y ciertos indicadores utilizados.

Al igual que el estudio de referencia, la presente investigación ha utilizado un enfoque de mapeo de riesgos para identificar las áreas más vulnerables y expuestas a ciclones tropicales. Ambos estudios emplean sistemas de información geográfica (GIS) para integrar diferentes capas de datos, como la exposición y la vulnerabilidad social, a fin de generar mapas que representen el riesgo de manera visual y comprensible.

A diferencia del estudio de referencia, esta tesis utiliza una resolución geográfica más precisa (SA2 en lugar de SA3), lo que permite una evaluación más detallada del riesgo a nivel local. Además, se incorporó un conjunto de indicadores de vulnerabilidad centrados en aspectos sociales y económicos específicos como el desempleo, personas sin educación superior entre un rango de edad, ingresos bajos, limitaciones físicas, limitaciones de comunicación, condiciones familiares y edades vulnerables. lo que proporciona un análisis más completo de los factores que influyen en el riesgo.

Comparación de los resultados con estudios previos.

Con respecto a la vulnerabilidad los resultados para áreas como Cairns, Mackay y Bundanberg coinciden en gran medida con los del estudio de referencia, que también

identificó estas áreas con medio nivel para las dos primeras y alto para la última respectivamente como se muestran en los anexos.

Respecto a los niveles de exposición si bien el nivel de estudio de la investigación de apoyo es de un tamaño SA3, los resultados son consistentes con el estudio de referencia en cuanto a la alta exposición en las áreas costeras y urbanas de Cairns, Mackay y Townsville. Esto valida la precisión de ambos enfoques en identificar las zonas más expuestas a los ciclones tropicales.

La alta exposición en Mackay en particular es un hallazgo compartido por ambos estudios, lo que refuerza la importancia de esta área para estrategias de mitigación, al centrarse en un nivel más detallado (SA2), proporciona una mayor precisión en la identificación de áreas expuestas, lo que es crucial para la toma de decisiones locales. La identificación de áreas de alta exposición en Mackay y Townsville permite orientar mejor los recursos y esfuerzos de mitigación

9 CONCLUSIONES

- Las diferencias en las categorías de vulnerabilidad (indicadas por los colores de las barras) permiten suponer que las causas de vulnerabilidad son variadas, desde factores socioeconómicos hasta limitaciones físicas o de edad, lo que podría ayudar a diseñar intervenciones específicas.
- Las ciudades con mayor número de personas vulnerables requieren mayor atención en términos de políticas públicas y medidas de preparación para reducir el riesgo social frente de los ciclones.
- En términos generales, la Serie 1 (Vulnerabilidad familiar y edades sensibles) es la más prominente en todas las LGA, lo que puede indicar que es el tipo de vulnerabilidad más extendido y de más influencia.
- Al vincular los indicadores de exposición con los indicadores de vulnerabilidad relacionados nos damos cuenta que Ciudades como Gracemere, Norman Gardens en Rockhampton y Bundaberg Region - South, Walkervale - Avenell Heights y Bargara - Burnett Heads en Bundaberg no solo presentan altos niveles de exposición (ya que están ubicadas en áreas con niveles de riesgo alto, sino que también tienen altos niveles de vulnerabilidad. Estas vulnerabilidades pueden estar asociadas con factores socioeconómicos, o V. Familiares o edades sensibles, por lo que estas áreas

requieren una atención prioritaria, ya que el riesgo es elevado tanto por la exposición como por la incapacidad de sus habitantes para hacer frente a los riesgos.

- En Bundaberg, tanto la vulnerabilidad como el riesgo presentan valores similares, destacándose una zona con alto riesgo. Una de las principales razones de esta situación está asociada al elevado porcentaje de desventaja económica que caracteriza a la región, lo cual aumenta significativamente su vulnerabilidad. Esta condición, combinada con el alto nivel de exposición, que es el mayor entre las cinco Áreas Gubernamentales Locales (LGA) estudiadas, refuerza la gravedad del riesgo en esta zona.

- Las áreas de Bargara, Walkervale y algunos sectores de Bundaberg requieren especial atención debido a sus altos niveles de vulnerabilidad familiar y económica. Este gráfico sugiere que la intervención en estas áreas podría enfocarse principalmente en apoyar a las familias y abordar las desventajas económicas.

- Al vincular la exposición y la vulnerabilidad, se observa que las áreas más densamente pobladas y urbanizadas, como los núcleos centrales de los LGA, concentran el mayor riesgo debido a la combinación de alta exposición y alta vulnerabilidad

- La densidad poblacional está directamente relacionada con el nivel de peligro, independientemente del tipo o magnitud de la amenaza que represente un ciclón tropical (CT).

- No importa cuán desarrollado sea el país, las desigualdades económicas siempre será un demarcador del factor desigualdad del índice de riesgos.

- Las evaluaciones de riesgo y vulnerabilidad se realizan tanto para un lugar específico como en un momento determinado. Por ello, tanto el análisis como la propuesta de medidas para la reducción del riesgo deben actualizarse periódicamente, considerando los cambios que puedan producirse a lo largo del tiempo y su influencia en los resultados, como una variación significativa de la población.

- La exposición, la vulnerabilidad y la integración de todos los componentes del riesgo, circunscritos a un contexto espacial, cultural y socioeconómico dado, son necesarias para la selección preliminar de estrategias y medidas de reducción del riesgo. Estas contramedidas son esenciales para prevenir nuevos riesgos y reducir los existentes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Best track Archive for Climate Stewardship. [Online]. [cited 2024 Junio. Available from: <https://www.ncei.noaa.gov/products/international-best-track-archive>.
2. World Meteorological Organization. WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019). [Online].; 2021 [cited 2024. Available from: <https://wmo.int/publication-series/wmo-atlas-of-mortality-and-economic-losses-from-weather-climate-and-water-extremes-1970-2019>.
3. Ryan CJ. Costs and benefits of tropical cyclones, severe thunderstorms and bushfires in Australia. *Climatic Change*. 1993; 25(353–367).
4. Wikipedia. Wikipedia. [Online]. [cited 2024 08 20. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Cyclone_Debbie.
5. IPCC. *Extremes, Abrupt Changes and Managing Risk*. In.; 2019.
6. Yeasmin A, Chand S, Turville C. Detection and verification of tropical cyclones and depressions over the South Pacific Ocean basin using ERA-5 reanalysis dataset. *Royal Meteorological Society*. 2021 April; 41.
7. Australian Bureau of Statistics (2021). *Socio-Economic Indexes For Areas: Getting a Handle on Individual Diversity Within Areas*. [Online].; 2011 [cited 2024. Available from: <https://www.abs.gov.au/AUSSTATS/abs@.nsf/DetailsPage/1351.0.55.036Sep%202011?OpenDocument>.
8. AS/NZS 1170.2:2021. *Structural design actions Wind actions*. ; 2021.
9. Haynes , Haynes K. Exploring the circumstances surrounding flood fatalities in Australia—1900–2015 and the implications for policy and practice. *Environmental Science & Policy*. 2017; 76(165-176).
10. Wijnands J, Oian G, Kuleshov Y. Spline-based modelling of near-surface wind speeds in tropical cyclones. *Applied Mathematical Modelling*. 2016; 40.
11. James M. Shultz JRZE. Epidemiology of Tropical Cyclones: The Dynamics of Disaster, Disease, and Development. *Epidemiologic Reviews*. 2005; 27(21-35).
12. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. United Nations. [Online]. Available from: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>.
13. J.S. Wijnands GQKLS. Seasonal forecasting of tropical cyclone. *Mathematics of Climate and Weather Forecasting*. ; 1.

- 14 Guoqi Qian LC,YK. mproving Methodology for Tropical Cyclone Seasonal Forecasting in the . Australian and the South Pacific Ocean Regions by Selecting and Averaging Models via Metropolis–Gibbs Sampling. MDPI. 2022; 14.
- 15 United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2022). Australia Statement at the Asia-Pacific Ministerial Conference on Disaster Risk Reduction 2022. [Online]. Available from: https://apmcdrr.undrr.org/sites/default/files/inline-files/Australia_Statement_APMCDRR%202022_0.pdf.
- 16 <https://www.homeaffairs.gov.au/emergency/files/national-disaster-risk-reduction-framework.pdf> DoHA(NdrffAG. .
- 17 United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2009). UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. United Nations. [Online]. Available from: https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf.
- 18 International Organization for Standardization. (2009). ISO 73:2009, Risk Management — Vocabulary. ISO. [Online]. Available from: <https://www.iso.org/standard/44651.html>.
- 19 <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030> UN(SFfDRR22UN. [Online].
- 20 Australian Bureau of Meteorology. Climate of North Queensland. [Online].; 2023 [cited 2024]. Available from: bom.gov.au.
- 21 Zhang , Zhang H, Lee Dongyeol. The Economic Impact of Natural Disasters in Pacific Island Countries: Adaptation and Preparedness. 2018.
- 22 Queensland Reconstruction Authority. Disaster Resilience in North Queensland. [Online].; 2023. Available from: gra.qld.gov.au.
- 23 Australia Bureau of statistics. [Online]. [cited 2024 agosto. Available from: <https://dbr.abs.gov.au/region.html?lyr=lga&rgn=32080>.
- 24 CALLAGHAN J. The Tropical Cyclone Risk in Cairns. Natural Hazard. 2003; 30(129-153).
- 25 Dullaart JCM,MS,BNea. Accounting for tropical cyclones more than doubles the global population exposed to low-probability coastal flooding. Commun Earth Environ. 2021; 2(135).
- 26 F. Lombardo DK. One hundred years of return period: Strengths and limitations. 2015 Nov; 51.
- 27 Ning Y,WX,YQea. Rapid Damage Prediction and Risk Assessment for Tropical Cyclones at a Fine Grid in Guangdong Province, South China. Int J Disaster Risk Sci. 2023 March; 14(237–252. <https://doi.org/10.1007/s13753-023-00485-y>).
- 28 Australian Bureau of Statistics. Socio-Economic Indexes For Areas: Getting a Handle on Individual Diversity Within Areas. [Online].; 2011 [cited 2024. Available from:

<https://www.abs.gov.au/AUSSTATS/abs@.nsf/DetailsPage/1351.0.55.036Sep%202011?OpenDocument>.

- 29 Socio-Economic Indexes For Areas: Getting a Handle on Individual Diversity Within Areas. [Online].; 2011 [cited 2024 julio 30. Available from: <https://www.abs.gov.au/AUSSTATS/abs@.nsf/DetailsPage/1351.0.55.036Sep%202011?OpenDocument>.
- 30 My Gov Australia. [Online]. [cited 2024. Available from: <https://www.servicesaustralia.gov.au/jobseeker-payment>.
- 31 Cutter SL, BBJ, & SWL. "Social Vulnerability to Environmental Hazards." *Social Science Quarterly*. 2003; 84(242-261).
- 32 Fothergill A, & PLA. Poverty and Disasters in the United States: A Review of Recent Sociological Findings. *Natural Hazards*. 2004; 32(89-110).
- 33 Fothergill A, & PLA. Poverty and Disasters in the United States: A Review of Recent Sociological Findings. *Natural Hazards*. 2004; 32(89-110).
- 34 Do C, KY. Tropical cyclone multi-hazard risk mapping for Queensland, Australia. *Natural Hazard*. 2023; 116(3725–3746).
- 35 Berman K, Kuleshov Y. Assessing Tropical Cyclone Risk in Australia Using Community Exposure–Vulnerability Indices. *Climate*. 2023; 11.
- 36 Cutter SL, Emrich C. Moral Hazard, Social Catastrophe: The Changing Face of Vulnerability Along the Hurricane Coasts. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*. 2006 March; 604(102-112).
- 37 United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030 United Nations.
- 39 GUPTA A. Deterministic methods for prediction of tropical cyclone tracks. U.C. MOHANTY. 1997; 48.
- 40 Moskaitis JR. A Case Study of Deterministic Forecast Verification: Tropical Cyclone Intensity. *AMS*. 2008 Feb;(1195–1220).
- 41 Keer AM. A Note on the Radius of Maximum Wind for Hurricanes. *Journal coastal Research*. 1998; 16.
- 42 IBTRACS. Available from: <https://www.ncei.noaa.gov/data/international-best-track-archive-for-climate-stewardship-ibtracs/v04r01/access/csv/>.
- 45 Australian Government. Department of Environment, Science and Innovation. [Online].; 2023 [cited 2024. Available from: <https://www.desi.qld.gov.au/our-department/news-media/down-to-earth/exploring-el-nino-impacts-on-qld>.

- 50 United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2009). UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. United Nations.
 . https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf. .
- 51 International Organization for Standardization. (2009). ISO 73:2009, Risk Management — Vocabulary. ISO. <https://www.iso.org/standard/44651.html>. [Online].
- 52 Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de desastres 2015-2030. [Online]. Available from: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>.
- 53 Gob Gov Aus. Disaster relief support services in Australia. [Online]. Available from: <https://au.reachout.com/challenges-and-coping/coping/disaster-relief-support-services-in-australia>.

10 ANEXOS

