

**ANÁLISIS ESPACIAL DE LA DESNUTRICIÓN AGUDA INFANTIL REPORTADA POR LA RED DE
SALUD DE ORIENTE DE CALI (2022-2023): IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA SU SEGUIMIENTO Y CONTROL**



Diego Fernando Marín Martínez

Trabajo de grado en Investigación e Innovación

Director: Ing. Robin Alexis Olaya, M.Sc.

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA
SANTIAGO DE CALI, 04 DE JULIO DEL 2025**

**ANÁLISIS ESPACIAL DE LA DESNUTRICIÓN AGUDA INFANTIL REPORTADA POR LA RED DE
SALUD DE ORIENTE DE CALI (2022-2023): IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA SU SEGUIMIENTO Y CONTROL**



Diego Fernando Marín Martínez

**TRABAJO DE GRADO
PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO TOPOGRÁFICO**

Director: Ing. Robin Alexis Olaya.

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
Santiago de Cali, 04 de Julio del 2025**

Nota de aceptación

Firma del director del trabajo de grado

Firma del codirector del trabajo de grado

Firma Jurado

Firma Jurado

Santiago de Cali, 2025

Dedicatoria

Al mirar hacia atrás, recuerdo cada momento en que dudé de mis capacidades: cuando creí que no aprobaría un examen, que no superaría una materia o que tal vez estaba en la carrera equivocada. Hoy, al contemplar este proyecto culminado, me siento profundamente orgulloso de mí mismo. Me dedico este logro como un recordatorio de que, por más incierto o difícil que parezca el camino, siempre vale la pena construir los sueños y avanzar con convicción hasta alcanzarlos.

Este recorrido no lo he transitado solo. Mi madre ha sido mi mayor fortaleza, siempre recordándome que soy un "muchacho capaz" y negándose a dejar que me de por vencido. A ella, con amor y gratitud infinitos, le dedico también este trabajo.

Asimismo, a mis amigos y amigas de la universidad, quienes, con su compañía, conversaciones y risas, han hecho de esta etapa de mi vida, una inolvidable. Gracias por caminar conmigo.

Agradezco profundamente a los docentes que han sembrado en mí la pasión por esta disciplina. En especial, al profesor Robin Olaya Herrera, al profesor Francisco Hernández, al profesor Jorge Gallego, al docente Iván Mauricio Bermúdez y al maestro Stevens Paz, cuyo compromiso, guía y palabras de aliento han sido fundamentales en mi formación y motivación profesional; y en general, un agradecimiento profundo a todos los profesores que me transmitieron más que solo un conocimiento en esta área de la ingeniería.

Finalmente, dedico este trabajo a los niños y jóvenes que padecen la condición de desnutrición aguda que aquí se estudia. Que este proyecto sea un paso más hacia la construcción de herramientas reales que nos permitan, como sociedad, transformar sus vidas con dignidad, justicia y esperanza.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, fuente de fortaleza y guía en cada paso, gracias infinitas por permitirme culminar con éxito esta etapa tan significativa de mi vida. Sin Su presencia constante y Su luz en los momentos de incertidumbre, este logro no habría sido posible.

La realización de este proyecto de investigación no solo representa el cierre de un ciclo académico, sino también una reafirmación de mis capacidades personales y del crecimiento que he experimentado a lo largo de mi formación profesional. Cada desafío superado ha sido una oportunidad para descubrir mi resiliencia y reafirmar mi vocación.

Expreso mi más profundo agradecimiento a los docentes que me acompañaron durante este camino. A aquellos que, más allá de compartir sus conocimientos, ofrecieron palabras de aliento, dedicaron su tiempo con generosidad y dejaron en mí enseñanzas para la vida. Gracias por ser faros en este recorrido.

A mi mamá, mi pilar más firme, gracias por tu amor incondicional, tu apoyo constante y por ser esa voz que nunca dejó de motivarme, incluso en los días más difíciles. Sin ti, este logro no tendría el mismo significado.

A mis amigos, gracias por estar presentes en cada etapa, por hacer de esta experiencia algo más llevadero, por los momentos compartidos y por ser un sostén incondicional en los días de desánimo.

A la universidad, por formar no solo profesionales, sino personas conscientes, con pensamiento crítico, capaces de transformar su entorno con responsabilidad y compromiso.

Y finalmente, inspirado en las palabras de Albert Einstein, agradezco también a quienes, en algún momento, me dijeron "no" cuando pedí ayuda. Gracias a ellos descubrí que podía hacerlo por mí mismo.

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN.....	9
2. INTRODUCCIÓN	10
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
4. OBJETIVOS.....	13
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
5. JUSTIFICACIÓN	14
6. ABREVIATURAS Y SIGLAS	16
7. MARCO TEÓRICO	17
7.1. MARCO CONCEPTUAL	17
7.2. MARCO REFERENCIAL	25
7.3. MARCO TEÓRICO	27
8. METODOLOGÍA.....	32
8.1. FASE 1 DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS EXPLORATORIO DEL PROBLEMA	32
8.2. FASE 2 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA BASE DE DATOS GEOGRÁFICA	36
8.3. FASE 3 Y 4. DESARROLLO E INTEGRACIÓN DEL GEOPORTAL WEB / ANÁLISIS ESPACIAL Y VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS	41
9. RESULTADOS	52
9.1. FASE 1. DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS EXPLORATORIO DEL PROBLEMA.....	52
9.2. FASE 2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA BASE DE DATOS GEOGRÁFICA	60
9.3. FASE 3 Y 4 DESARROLLO E INTEGRACIÓN DEL GEOPORTAL WEB / ANÁLISIS ESPACIAL Y VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS	64
10. DISCUSIÓN	71
10.1. FASE 1.....	71
10.2. FASE 2.....	72
10.3. FASE 3 Y 4.....	73
11. CONCLUSIONES.....	76
12. RECOMENDACIONES	78
13. TRABAJOS FUTUROS	80
14. BIBLIOGRAFÍA.....	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Plan de trabajo y estructura metodológica.....	32
Figura 2. Diagrama de flujo de la fase 1	33
Figura 3. Diagrama de flujo de la fase 2.....	36
Figura 4. Diagrama de flujo de la fase 3 y 4.....	42
Figura 5. Modelo conceptual del sistema.....	43
Figura 6. Etapas de flujo y funciones dentro del sistema.....	44
Figura 7. Visualización de los datos existentes y faltantes.....	54
Figura 8. Identificación de datos atípicos por el método de distancias de Mahalanobis y LOF...55	
Figura 9. Verificación de la completitud de los datos totales.....	56
Figura 10. Diagrama de cajas y bigotes. Variable Edad según pacientes con desnutrición moderada.....	57
Figura 11. Gráfico de barras del Estrato socioeconómico según desnutrición moderada y severa..58	
Figura 12. Modelo conceptual de la base de datos.....	61
Figura 13. Modelo lógico de la base de datos.....	62
Figura 14. Modelo físico de la base de datos.....	63
Figura 15. Página de inicio del geoportal “Entre Calles y Sueños: La Desnutrición Infantil Aguda en el Mapa de Santiago de Cali”	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Relación entre procesos, entradas y salidas del sistema.....	45
Tabla 2. Clasificación de variables correlacionales.....	52
Tabla 3. Cantidad total de registro	53
Tabla 4. Clasificación de variables cuantitativas.....	56
Tabla 5. Clasificación de variables cualitativas.....	57

1. RESUMEN

La desnutrición aguda infantil representa una de las problemáticas más críticas en salud pública, especialmente en contextos urbanos con alta vulnerabilidad social como Santiago de Cali. Esta condición, caracterizada por un bajo peso para la talla, afecta principalmente a menores de cinco años y compromete su desarrollo integral. Ante la dispersión de los datos y la falta de herramientas geoespaciales que apoyen la vigilancia epidemiológica, este proyecto desarrolló un Sistema de Información Geográfica (SIG) para el seguimiento y monitoreo de los casos reportados de desnutrición aguda infantil en la Red de Salud del Oriente durante 2022 y 2023.

La metodología se estructuró en cuatro fases: recopilación y estandarización de datos del SIVIGILA; diseño de una base de datos geoespacial; análisis exploratorios y espaciales (índices de Moran global y local, mapas de calor y análisis multitemporales) en ArcGIS Pro 3.2.2; y desarrollo de un geoportal interactivo en ArcGIS Online para la consulta pública.

Entre los principales hallazgos se identificaron patrones de concentración de casos en 18 de las 21 comunas (86% de cobertura), con afectación en el 22,85% de los barrios y presencia de casos en los corregimientos La Castilla, La Buitrera y Navarro. Se evidenciaron correlaciones con variables socioeconómicas y una clara necesidad de intervenciones focalizadas en la zona oriente. El geoportal resultante constituye una herramienta de apoyo para instituciones de salud, investigadores y tomadores de decisiones, al ofrecer información territorial dinámica, accesible y basada en evidencia. De esta manera, el proyecto demuestra cómo la ingeniería topográfica puede contribuir de forma significativa a la comprensión y gestión de problemáticas sociales y de salud pública a través del uso de herramientas geoespaciales.

Palabras Clave: Desnutrición infantil, Sistemas de Información Geográfica (SIG), salud pública, análisis espacial, vigilancia epidemiológica.

2. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han consolidado como herramientas fundamentales para la solución de problemáticas complejas en diversas áreas del conocimiento. Gracias a su capacidad para almacenar, gestionar y analizar grandes volúmenes de información geoespacial, los SIG permiten realizar análisis detallados, generar cartografía temática [23] y facilitar el entendimiento de fenómenos desde su dimensión territorial. Esta perspectiva espacial se convierte en un insumo clave para la toma de decisiones fundamentadas y la planificación estratégica en campos como la salud pública, el medio ambiente o la movilidad.

En Cali, la magnitud del problema ya había sido evidenciada antes del periodo de análisis de este proyecto. De acuerdo con datos de la Secretaría de Salud, en 2019 la prevalencia de desnutrición crónica en menores de cinco años alcanzó el 7,0%, lo que equivale a cerca de 11.000 niños y niñas afectados en la ciudad. Asimismo, en 2018 se registraron 541 casos de desnutrición aguda y más de 2.200 nacimientos con bajo peso (8,9% del total), indicadores que reflejan la persistencia de condiciones de vulnerabilidad nutricional en la primera infancia incluso antes de 2022.

En este marco, el presente proyecto tuvo como objetivo general desarrollar una herramienta geoespacial que integrara información de salud para el monitoreo continuo y la identificación de patrones y zonas críticas de desnutrición aguda en menores de cinco años reportados por la Red de Salud del Oriente de Cali en los años 2022 y 2023. El alcance del estudio incluyó el diseño de una base de datos espacio-temporal, la implementación de un geoportal web y la integración de análisis espaciales que facilitan la consulta de información por parte de instituciones de salud, investigadores y tomadores de decisiones.

Es importante señalar que el enfoque principal de la investigación fue demostrar la aplicabilidad de la ingeniería topográfica y de las herramientas geoespaciales en el análisis de una problemática social de alto impacto. En este sentido, no se buscó generar nuevo conocimiento en el campo clínico o epidemiológico, sino aportar desde la perspectiva ingenieril al diseño de una herramienta digital para el seguimiento y monitoreo de la desnutrición aguda infantil. Para ello, la información de salud utilizada provino del libro electrónico recopilado por investigadores y autores de [2], quienes gestionaron los reportes oficiales del SIVIGILA correspondientes a la Red de Salud del Oriente de Cali en los años 2022 y 2023.

Este enfoque no es aislado ni exclusivo del contexto local. A nivel internacional, diferentes experiencias han demostrado cómo los SIG pueden aplicarse exitosamente en el campo de la salud pública. Un ejemplo relevante es el estudio realizado por [58], en el que se utilizó un enfoque analítico espacial para comprender la mortalidad perinatal en África Subsahariana, a partir de encuestas demográficas de diversas entidades territoriales. Estos antecedentes refuerzan la pertinencia del uso de herramientas geoespaciales en la vigilancia de problemáticas de salud y en la formulación de políticas públicas basadas en evidencia territorial.

La metodología del proyecto se estructuró de manera general en cuatro fases: la recopilación y estandarización de datos provenientes del SIVIGILA; el diseño de una base de datos

geoespacial; la aplicación de análisis espaciales y multitemporales; y el desarrollo de un geoportal web interactivo para la visualización de los resultados.

Entre los procesos desarrollados se destacan la identificación de patrones de distribución espacial, la representación gráfica de los casos y la elaboración de visualizaciones temáticas que facilitaron la comprensión del fenómeno. Asimismo, se implementaron análisis multitemporales con una resolución mensual, lo que permitió observar variaciones en el comportamiento de los casos a lo largo del tiempo. Un aspecto relevante fue la detección de agrupamientos espaciales mediante índices de autocorrelación, que evidenciaron la existencia de zonas críticas en la ciudad y aportaron elementos clave para la priorización de intervenciones en salud pública.

Entre los principales resultados, se identificaron patrones de concentración de casos en 18 de las 21 comunas de la ciudad, así como correlaciones con variables socioeconómicas que evidencian la necesidad de intervenciones focalizadas en la zona oriental. El geoportal resultante constituye un aporte innovador al poner a disposición de la comunidad académica y de salud una plataforma dinámica que combina análisis espacial con visualización interactiva, demostrando el potencial de la ingeniería topográfica para contribuir a la comprensión y gestión de problemáticas sociales y de salud pública.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La desnutrición aguda infantil continúa siendo un grave problema de salud pública en Colombia, particularmente en la ciudad de Santiago de Cali. A pesar de los esfuerzos realizados, las cifras siguen siendo alarmantes, con un aumento del 169% en los casos reportados en Cali para el año 2022 [1]. Este incremento se reflejó principalmente en las comunas 13, 14, 15, 21, donde se concentra una alta incidencia de desnutrición aguda. Este fenómeno tiene efectos devastadores en el desarrollo físico y cognitivo de los niños, afectando su salud y reduciendo su capacidad de aprendizaje y productividad futura [2], lo que agrava la situación a largo plazo.

El seguimiento y control de los casos en estas zonas enfrenta varios desafíos en la gestión de la información, particularmente en lo que respecta a los datos reportados por las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS) de la Red de Salud del Oriente, que operan en estas áreas, según sus reportes de los años 2022 y 2023.

El análisis de la desnutrición aguda requiere la consideración de múltiples variables correlacionales, como el estrato socioeconómico, la educación de la madre, la seguridad alimentaria y las enfermedades consecuentes [2]; no obstante, la falta de herramientas adecuadas impide realizar un análisis integral que permita identificar patrones de distribución y factores de riesgo asociados a la desnutrición.

La dispersión de la información entre distintas entidades y su almacenamiento en formatos no integrados dificultan la identificación temprana de los factores que influyen en la desnutrición. Esto limita la capacidad para tomar decisiones informadas y para implementar intervenciones oportunas y específicas en cada contexto. La falta de un sistema adecuado para compilar, visualizar y analizar de manera conjunta los datos geográficos, los registros de salud y las variables correlacionales; el análisis de la desnutrición aguda en este proyecto requirió la consideración de múltiples variables anexas, como el estrato socioeconómico, la educación de la madre, la seguridad alimentaria y las delimitaciones geográficas.

Esta deficiencia en la gestión integral de la información dificulta que las autoridades puedan formular políticas y estrategias de intervención más efectivas.

Por lo tanto, es necesario desarrollar un sistema que permita integrar estos datos de manera eficiente, considerando tanto la distribución espacial de los casos de desnutrición como su relación con variables contextuales clave. Este sistema facilitaría la identificación de zonas críticas y proporcionaría información clave para diseñar políticas y acciones más específicas. A través de la consolidación de estos datos se promovería un enfoque más informado y dirigido para abordar este problema de salud pública.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Desarrollar una herramienta geoespacial que integre información de salud para el monitoreo espacial continuo y la identificación de patrones y zonas críticas de los casos de desnutrición aguda en menores de 5 años reportados por la Red de Salud de Oriente de Santiago de Cali en los años 2022 y 2023.

4.2. Objetivos Específicos

1. Caracterizar las variables correlacionales con la desnutrición aguda en la zona de estudio.
2. Diseñar una base de datos espacio-temporal que integre la información de salud relacionada con los casos reportados de desnutrición aguda.
3. Implementar un portal web para el monitoreo constante de la evolución espacio-temporal de los casos de desnutrición aguda en la zona focalizada, permitiendo la identificación de patrones y zonas críticas.
4. Integrar un módulo de visualización de los análisis espacio-temporales que permita exhibir cartografía, la generación de paneles de control y gráficos estadísticos, junto con la exploración con variables correlacionales.

5. JUSTIFICACIÓN

La desnutrición aguda en menores de cinco años es un problema de salud pública con impactos significativos en la mortalidad infantil. Según [61] en 2018, el 45% de las muertes a nivel mundial estuvo relacionado con esta condición. En Colombia, en los últimos ocho años, se han reportado 4.770 muertes infantiles asociadas a la desnutrición [3]. Particularmente, en Cali, los casos han aumentado un 169% en 2022 en comparación con años anteriores [1], concentrándose en las comunas 13, 14, 15, 21. Debido a su relación con factores socioeconómicos y de acceso a servicios de salud, se requiere un enfoque integral que permita analizar su distribución espacial y las variables asociadas para la planificación de intervenciones más efectivas.

El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha demostrado ser una metodología eficiente en el ámbito de la salud pública para la gestión, análisis y visualización de datos georreferenciados. Según la Organización Panamericana de la Salud, han demostrado ser una herramienta innovadora y de gran potencial para el estudio de problemáticas de salud a nivel global. Sin embargo, su uso en el sector salud sigue siendo limitado, ya que muchos tomadores de decisiones omiten su valor al abordar problemáticas multidisciplinarias [10]. Los SIG permiten la integración de múltiples variables espaciales y epidemiológicas en un solo entorno de análisis, facilitando una visión más holística del problema. Además, desde una perspectiva ontológica, funcional y de poder, su aplicación contribuye a la consolidación de datos relevantes para la toma de decisiones basada en evidencia [10].

En este contexto, este proyecto propuso el desarrollo de un geoportal web basado en SIG que permita visualizar, analizar y monitorear la distribución espacial de la desnutrición aguda en Cali. Esta herramienta almacena productos como mapas temáticos interactivos, tableros de control, un geovisor y análisis espaciales que integran variables socioeconómicas y de salud. La información georreferenciada permitió identificar áreas prioritarias de atención, proponiendo una herramienta que facilite la planificación de estrategias de intervención y sirva como insumo para estudios académicos sobre la evolución de la desnutrición y sus determinantes espaciales.

Cabe resaltar que este proyecto se enmarca en la investigación realizada por Reyes Balcázar y Cortés Arismendi, autores de [2], quienes gestionaron ante el sistema SIVIGILA la obtención de los registros clínicos de menores de cinco años reportados por la Red de Salud del Oriente de Cali en los años 2022 y 2023. A partir de un acercamiento académico con dichos investigadores fue posible acceder a esta base de datos, la cual constituyó el insumo fundamental para el desarrollo de los análisis aquí presentados.

En concordancia con el enfoque de esta investigación, orientado a demostrar la aplicabilidad de la ingeniería topográfica en el diseño de herramientas geoespaciales para problemáticas sociales, la selección de variables clínicas no se realizó de manera arbitraria. Por el contrario, este proceso contó con el acompañamiento de una pediatra de la Clínica Infantil Club Noel y una nutricionista del ICBF, quienes avalaron la pertinencia de las variables utilizadas, asegurando que fueran suficientes para cumplir con los objetivos de esta investigación desde la perspectiva ingenieril.

Los beneficiarios de este proyecto incluyen entidades gubernamentales y de salud, quienes podrían utilizar la herramienta para optimizar la asignación de recursos y diseñar políticas basadas en datos espaciales. Investigadores y académicos tendrían acceso a información estructurada para el desarrollo de estudios sobre desnutrición infantil y sus factores asociados. Asimismo, organizaciones no gubernamentales y organismos de cooperación internacional podrían emplear los análisis generados para diseñar estrategias focalizadas y evaluar el impacto de sus programas. Finalmente, la comunidad y los tomadores de decisiones contarían con una plataforma accesible que facilitaría la comprensión de la problemática y fomentaría acciones de sensibilización.

Si bien se espera que esta herramienta contribuya a la identificación de patrones espaciales y a la planificación de intervenciones más precisas, su impacto dependerá de factores como la calidad de los datos disponibles, la adopción por parte de los actores involucrados y las condiciones socioeconómicas de la población. A pesar de estas posibles limitaciones, este proyecto tiene el potencial de mejorar la gestión de información para la formulación de estrategias de salud pública más eficientes y fortalecer capacidades locales en el uso de tecnologías geoespaciales aplicadas a la salud. En síntesis, el desarrollo de este geoportal representa una oportunidad para mejorar la identificación y análisis de la desnutrición aguda infantil en Cali, promoviendo una toma de decisiones informada y un enfoque más integral en la lucha contra esta problemática.

6. ABREVIATURAS Y SIGLAS

- BDG: Base de Datos Geográfica
- CALI: Santiago de Cali
- ESE: Empresa Social del Estado
- GIS: Geographic Information Systems (Sistemas de Información Geográfica)
- IDESC: Infraestructura de Datos Espaciales de Santiago de Cali
- IMC: Índice de Masa Corporal
- SIVIGILA: Sistema de Vigilancia en Salud Pública
- SIG: Sistemas de Información Geográfica
- SISBEN: Sistema de Selección de Beneficiarios para Programas Sociales
- Z-score: Puntuación estándar, medida estadística para evaluar desnutrición

7. MARCO TEÓRICO

Para comprender los fundamentos de esta investigación, se presentan tres marcos clave. El marco conceptual define los términos esenciales relacionados con la desnutrición, los sistemas de información geográfica (SIG) y el análisis espacial. El marco referencial recopila antecedentes y estudios previos que evidencian la aplicación de los SIG en salud pública, destacando su utilidad en la vigilancia epidemiológica y la planificación sanitaria. Finalmente, el marco teórico expone los principios científicos y metodológicos que sustentan la integración de los SIG en el análisis de la desnutrición aguda infantil.

7.1. Marco Conceptual

El presente marco conceptual se estructuró como una sesión dedicada a ampliar y profundizar en los conceptos y procesos fundamentales que sustentaron la investigación. En esta sección se desarrollaron, de manera clara y concisa, las definiciones y explicaciones de palabras y procedimientos puntuales que fueron identificados a lo largo del estudio.

Con el fin de mantener un orden lógico y facilitar la comprensión del trabajo, los conceptos se organizaron de acuerdo con las fases metodológicas planteadas en el proyecto. De esta manera, cada fase incluyó los términos y procesos específicos que le correspondieron, permitiendo una visualización estructurada y coherente del conocimiento teórico que respaldó cada etapa de la investigación.

7.1.1. Fase 1. Diagnóstico y análisis exploratorio del problema

Factores asociados a la desnutrición infantil.

La malnutrición es un estado patológico que resulta de múltiples factores, incluyendo aspectos sociales y ambientales. Entre estos, el acceso al agua potable y las normas socioculturales juegan un papel crucial, ya que condicionan las condiciones de vida de la población. Cuando estos factores son deficientes, aumentan la vulnerabilidad de los niños a la desnutrición [2].

Dentro de las causas de la emaciación, la desnutrición y la ingesta insuficiente de micronutrientes, se encuentran factores como una deficiente alimentación materna durante la gestación, una inadecuada lactancia materna en los primeros seis meses de vida y la falta de óptimas estrategias de los cuidadores para proporcionar una dieta balanceada [3]. Según [4], las causas de la desnutrición infantil pueden agruparse en tres categorías principales:

1. **Causas básicas:** Relacionadas con problemas estructurales de producción y suministro de alimentos a nivel nacional, así como con limitaciones socioeconómicas.
2. **Causas subyacentes:** Derivadas de las condiciones y prácticas dentro del hogar y la comunidad, como el acceso a agua potable y hábitos alimentarios.
3. **Causas inmediatas:** Aquellas manifestaciones directas en los individuos debido a una ingesta alimentaria inadecuada o enfermedades relacionadas con la desnutrición.

Análisis exploratorio de datos:

El análisis exploratorio de datos constituye una herramienta fundamental para el estudio preliminar de la información utilizada en una investigación. A través de la generación de resúmenes estadísticos y representaciones gráficas, es posible evaluar la calidad de los datos, su complejidad, naturaleza y las relaciones existentes entre las variables. Su aplicación en las etapas iniciales del análisis resulta crucial, ya que facilita una mejor comprensión de la información con la que se desarrollará el estudio [11].

Este enfoque permite, además, la identificación de patrones no anticipados mediante un componente visual significativo y la construcción de representaciones gráficas, lo que posibilita un análisis más profundo y detallado de los datos utilizados en la investigación [12].

Distancia de Mahalanobis:

La distancia de Mahalanobis es una técnica utilizada para la identificación de datos atípicos (*outliers*) en análisis de datos multivariados. A diferencia de las técnicas tradicionales para datos univariados, esta medida no solo considera el valor de una única variable, sino su comportamiento dentro de un conjunto de variables correlacionadas. Su principal ventaja radica en que incorpora la estructura de correlación entre las variables, proporcionando una forma más precisa de detectar valores atípicos en distribuciones multivariadas.

Esta distancia permite determinar qué tan alejado está un punto con respecto al centroide de la distribución de los datos, considerando la covarianza entre las variables [13]. En este sentido, se presenta como una alternativa a la distancia euclidiana, siendo especialmente útil en estudios donde se requiere evaluar la similitud entre observaciones multidimensionales sin perder de vista la relación entre ellas [14].

Local outlier factor (LOF):

El algoritmo Local Outlier Factor (LOF) es una técnica no supervisada utilizada para la detección de anomalías en conjuntos de datos. Su enfoque se basa en el cálculo de la densidad de un punto en relación con sus vecinos más cercanos. Una vez realizado este análisis, aquellos datos cuya densidad sea significativamente menor en comparación con la de sus vecinos son identificados como anomalías [15].

Este método opera midiendo la relación de densidad entre observaciones, permitiendo detectar valores atípicos al comparar su comportamiento con el de los datos circundantes. LOF es particularmente útil en contextos donde la distribución de los datos es heterogénea, ya que identifica anomalías en función de su vecindario local, en lugar de basarse en umbrales globales de distancia o dispersión [16].

Imputación de datos por algoritmo KNN:

El método de imputación basado en K-nearest neighbors (KNN) se caracteriza por su flexibilidad y su independencia de supuestos paramétricos, lo que lo hace aplicable a distintos tipos

de variables y conjuntos de datos. Su funcionamiento se basa en la selección de observaciones similares a la entidad con valores faltantes, permitiendo así estimar la información ausente mediante la agregación de datos de los elementos más cercanos [17].

Análisis bivariado:

El análisis bivariado es una técnica estadística que permite evaluar la relación existente entre dos variables dentro de un mismo conjunto de datos. Su propósito principal es determinar la magnitud y el sentido de esta relación, identificando posibles dependencias entre las variables analizadas. No obstante, es importante destacar que la presencia de correlación entre dos variables no implica necesariamente una relación de causalidad, ya que la asociación observada puede deberse a otros factores subyacentes [18].

Este tipo de análisis se fundamenta en el cálculo de la covarianza entre dos variables, permitiendo su interpretación tanto desde un enfoque descriptivo como inferencial. Desde una perspectiva descriptiva, se emplean medidas como coeficientes de correlación para cuantificar el grado de asociación. Mientras que, en el ámbito inferencial, se aplican pruebas estadísticas para evaluar la significancia de la relación observada y determinar si esta puede generalizarse a una población más amplia [19].

7.1.2. Fase 2. Diseño e implementación de la base de datos geográfica

Base de datos geográfica:

Una Base de Datos Geográfica (BDG) es un conjunto estructurado de datos que poseen una ubicación georreferenciada, permitiendo su almacenamiento, gestión y análisis a través de aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estas bases de datos son esenciales para la ejecución de análisis espaciales, la prestación de servicios geográficos y la generación de cartografía temática para diversos fines [23].

Para garantizar una correcta estructuración de una BDG, es fundamental diseñar modelos de datos adecuados y establecer un catálogo de objetos que defina las entidades espaciales y sus atributos. Asimismo, una BDG puede conceptualizarse como un modelo de datos compuesto por atributos y relaciones organizados en archivos o tablas dentro de un Sistema de Gestión de Bases de Datos (SGBD), lo que permite su eficiente almacenamiento y manipulación [24].

Modelo conceptual:

El modelo conceptual representa, de manera visual y abstracta, las entidades, clases u objetos del mundo real, junto con sus atributos y relaciones. Esta representación se construye a través de esquemas o diagramas, proporcionando una visión estructurada de la información. Su propósito principal es servir como base para las siguientes etapas en el diseño de una base de datos, asegurando que la estructura de la información refleje fielmente los requerimientos del usuario [25].

En este modelo, es fundamental definir las entidades involucradas, sus relaciones y las restricciones que condicionan la estructura de los datos. Al tratarse de una fase conceptual, no se incorporan aspectos técnicos relacionados con la implementación en un sistema de gestión de bases de datos, sino que se enfoca en describir de manera clara y comprensible la organización de la información [26].

Modelo Lógico:

El modelo lógico, también conocido como modelo relacional, se desarrolla a partir del modelo conceptual y permite representar la estructura de una base de datos en un formato más detallado y técnico. Su función principal es facilitar la transición desde el diseño conceptual hasta la implementación en un sistema de gestión de bases de datos, ya sea relacional u orientado a objetos [26].

Este modelo mejora la representación de las entidades y sus relaciones, incorporando una nomenclatura específica para cada componente del esquema de datos. Además, es común que se exprese utilizando herramientas de modelado como el Lenguaje Unificado de Modelado (UML), lo que proporciona una representación gráfica estandarizada y comprensible del diseño de la base de datos. [26]. En esta etapa, se establecen con mayor precisión los atributos, claves primarias y foráneas, así como las restricciones de integridad que regirán la estructura de la base de datos.

Modelo físico:

El modelo físico representa la última etapa en el diseño de una base de datos, en la cual se materializa la estructura conceptual y lógica en un esquema listo para su implementación. En esta fase, la información se define de acuerdo con la tecnología y el sistema de gestión de bases de datos (SGBD) que se utilizará, considerando aspectos de almacenamiento, optimización y rendimiento. Este modelo permite aplicar desnormalización controlada, una estrategia utilizada para mejorar la eficiencia en la consulta y manipulación de datos [27].

Además, en esta etapa se establecen los detalles técnicos de la base de datos, como los nombres de las columnas, tipos de datos, restricciones de integridad, índices y estructuras de almacenamiento [28].

Gestor de base de datos:

Un gestor de base de datos (SGBD) es un software especializado que facilita la administración, almacenamiento y manipulación de la información contenida en una base de datos geográfica (BDG) u otros tipos de bases de datos. Su función principal es actuar como intermediario entre los usuarios y los datos, permitiendo la interacción a través de consultas y operaciones sin que el usuario final deba preocuparse por los procesos internos del sistema. Asimismo, los SGBD cuentan con lenguajes específicos, como el Lenguaje de Consulta Estructurado (SQL), que permiten definir, manipular y administrar los datos de manera estructurada y optimizada [29].

Este tipo de software ofrece un conjunto de herramientas que permiten gestionar la información de manera eficiente, proporcionando mecanismos para el almacenamiento, recuperación y modificación de datos, además de garantizar su seguridad e integridad. [30].

Modelo de datos vectoriales:

Los modelos de datos vectoriales representan entidades geoespaciales mediante coordenadas definidas en un sistema de referencia, a diferencia de los datos ráster, que se almacenan en una estructura matricial de celdas. En estos modelos, los elementos geográficos se describen utilizando puntos, líneas y polígonos, cada uno con atributos asociados que se gestionan a través de un Sistema de Gestión de Bases de Datos (SGBD) [31].

Existen tres tipos fundamentales de datos vectoriales:

- Punto: Representa una entidad geográfica unidimensional mediante un par de coordenadas (X, Y).
- Línea: Se compone de una secuencia ordenada de puntos conectados, formando una estructura bidimensional que representa elementos lineales como carreteras o ríos.
- Polígono: Se define como un conjunto de líneas interconectadas que forman un bucle cerrado, permitiendo la representación de superficies como cuerpos de agua, zonas urbanas o áreas administrativas.

Este modelo de datos es ampliamente utilizado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) debido a su capacidad para representar con precisión las relaciones espaciales y permitir análisis avanzados de geoprocetamiento [31].

Sistema de Coordenadas Geográficas

El sistema de coordenadas geográficas es una herramienta que nos ayuda a ubicar cualquier lugar en la Tierra. Funciona como un modelo tridimensional que toma en cuenta la forma esférica o elipsoidal del planeta. Para hacer esto, utiliza dos valores principales: la latitud y la longitud, que son ángulos medidos desde el centro de la Tierra hasta un punto específico en su superficie.

Este sistema se basa en tres componentes clave:

1. Una unidad de medida, que normalmente son los grados.
2. Un meridiano de referencia (como el Meridiano de Greenwich), que sirve como punto de partida para medir la longitud.
3. Un "datum" geodésico, que es un modelo matemático que define la forma y el tamaño de la Tierra, y sirve como base para calcular las coordenadas.

Este sistema es muy útil en áreas como la creación de mapas, la navegación y el análisis espacial, ya que permite representar ubicaciones de manera precisa, respetando la forma real del planeta [32].

Sistema de Coordenadas Proyectadas:

A diferencia del sistema geográfico, el sistema de coordenadas proyectadas "aplana" la Tierra en una superficie bidimensional, como si fuera un mapa. Para lograrlo, convierte la curvatura del planeta en una cuadrícula con ejes X e Y, donde cada punto se mide a partir de un origen específico.

Este sistema es muy práctico para trabajar con distancias, ángulos y áreas en estudios locales o regionales, ya que mantiene estas propiedades constantes. Sin embargo, al pasar de una forma esférica a un plano, siempre se genera algún tipo de distorsión. Por eso, elegir el tipo de proyección adecuada es clave, y dependerá del objetivo del estudio y de la zona del mundo que se quiera representar [32]

Servicios WFS:

El Web Feature Service (WFS) es un estándar desarrollado por el Open Geospatial Consortium (OGC) que permite la consulta, acceso y manipulación de datos espaciales vectoriales a través de servicios web. A diferencia del Web Map Service (WMS), que únicamente proporciona la visualización de los datos en formato de imagen, el WFS permite a los usuarios obtener y trabajar con capas vectoriales, lo que posibilita su edición y análisis espacial en entornos SIG [33].

Este servicio facilita la interoperabilidad entre plataformas y usuarios, permitiendo el acceso a información geoespacial almacenada en bases de datos remotas. Gracias a sus capacidades, el WFS es ampliamente utilizado en aplicaciones de gestión territorial, monitoreo ambiental y análisis geoespacial, ya que permite integrar datos espaciales de diferentes fuentes sin necesidad de almacenarlos localmente [33].

Índice de Moran (I de Morán Global):

El Índice de Moran (I de Moran) es una medida estadística utilizada para evaluar la autocorrelación espacial, es decir, el grado en que los valores de un atributo geoespacial se asemejan o difieren en función de su ubicación. Esta herramienta analiza si la distribución espacial de un conjunto de datos presenta un patrón agrupado, disperso o aleatorio, proporcionando una interpretación cuantitativa de la relación espacial entre las entidades analizadas [38].

Para determinar la significancia de la autocorrelación espacial, el índice se acompaña de una puntuación Z y un valor P, los cuales permiten evaluar la validez estadística del patrón observado. El valor P se obtiene mediante métodos de probabilidad y representa la proporción del área bajo la curva de una distribución conocida, utilizada para determinar si la autocorrelación observada es estadísticamente significativa o si puede atribuirse al azar [38].

Índice local de Morán (Índice LISA):

El Índice Local de Moran, también conocido como Índice LISA (Local Indicators of Spatial Association), es una extensión del Índice Global de Moran, diseñada para identificar la distribución espacial de patrones de autocorrelación a nivel local. Mientras que el índice global

evalúa la autocorrelación espacial en todo el conjunto de datos, el Índice LISA permite analizar variaciones espaciales específicas, detectando agrupaciones locales de valores similares o contrastantes dentro de la región estudiada [39].

Este índice permite la identificación de zonas de alta y baja concentración de valores, facilitando la detección de puntos calientes (hotspots) y puntos fríos (coldspots). Un hotspot representa un grupo de valores altos rodeados de otros valores altos, mientras que un coldspot indica la presencia de valores bajos dentro de un área de valores bajos. Además, el Índice LISA también permite reconocer áreas de desviación local, donde los patrones de autocorrelación difieren del comportamiento general observado en el análisis global [39].

Distancia Euclidiana:

La distancia euclidiana es una medida geométrica que determina la separación más corta entre dos puntos en un espacio cartesiano, ya sea en dos o más dimensiones. Su cálculo se basa en el Teorema de Pitágoras, donde la distancia entre dos puntos se obtiene como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las diferencias entre sus coordenadas.

Esta métrica es ampliamente utilizada en diversos campos, como el análisis espacial, la ciencia de datos y el aprendizaje automático, debido a su capacidad para medir la similitud o diferencia entre observaciones en un espacio multidimensional [40]. En los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la distancia euclidiana es fundamental para el análisis de proximidad, la clasificación de datos espaciales y la determinación de rutas óptimas

7.1.3. Fase 3 y 4. Desarrollo e integración del geoportal web / Análisis espacial y visualización de resultados

Geoportal:

Un geoportal es una plataforma web diseñada para la publicación, visualización y análisis de información geoespacial, facilitando el acceso a datos espaciales de manera organizada y estructurada. A través de un geoportal, los usuarios pueden interactuar con mapas, consultar bases de datos espaciales y realizar análisis geoespaciales según sus necesidades [41].

Esta herramienta está compuesta por diferentes páginas o secciones, cada una enfocada en la presentación de distintos tipos de información, lo que permite una navegación más intuitiva y segmentada. Además, los geoportales pueden estar dirigidos a un público general o especializado, dependiendo de los permisos y niveles de acceso definidos para la plataforma [41].

Desarrollo front-end:

El desarrollo front-end es la parte de una aplicación web encargada de definir la estructura, apariencia y experiencia visual con la que interactúa el usuario. Se encarga de organizar y presentar los datos de manera intuitiva y accesible, asegurando que la interfaz sea estéticamente atractiva, funcional y fácil de navegar.

Este desarrollo abarca aspectos clave como la disposición de los elementos, la tipografía, los colores, el tamaño de la página, los márgenes y la arquitectura de la información. Además, garantiza que el diseño del sitio web se adapte a diferentes dispositivos y resoluciones, mejorando la experiencia del usuario (UX) y la usabilidad del portal [42].

Para la implementación del front-end, se emplean tecnologías como HTML, CSS y JavaScript, además de frameworks y bibliotecas como React, Angular o Vue.js, que facilitan la creación de interfaces dinámicas e interactivas [42].

Desarrollo Back-end:

El desarrollo back-end es la parte del desarrollo web encargada de gestionar el funcionamiento interno de un sitio o aplicación, asegurando que todas las operaciones lógicas se ejecuten de manera eficiente. A diferencia del front-end, que se enfoca en la interfaz visual y la interacción con el usuario, el back-end opera en el lado del servidor y es responsable del procesamiento de datos, almacenamiento y seguridad [43].

Este desarrollo abarca tres componentes principales: Lógica del sistema: Se encarga de definir cómo se procesan las solicitudes del usuario y cómo se ejecutan las acciones en el servidor. Además de la gestión y almacenamiento de datos: Involucra el uso de bases de datos para registrar, actualizar y recuperar información de manera estructurada. También la seguridad y autenticación: Implementa medidas de seguridad para proteger la información y restringir el acceso no autorizado.

El back-end funciona mediante tecnologías como lenguajes de programación (Python, Java, PHP, Node.js), bases de datos (PostgreSQL, MySQL, MongoDB) y servidores web, permitiendo que el sitio web o la aplicación operen de manera óptima sin que el usuario perciba los procesos internos [43].

Mapas web:

Un mapa web es una representación cartográfica interactiva alojada en una plataforma en línea, diseñada para compartir información geoespacial con los usuarios finales. Estos mapas permiten visualizar, analizar y consultar datos espaciales a través de herramientas interactivas, facilitando la exploración de la información geográfica de manera dinámica [44].

La estructura de un mapa web se compone de varios elementos esenciales. En primer lugar, cuenta con un mapa base, que proporciona el contexto geográfico sobre el cual se superponen los datos. Además, integra capas de información, las cuales almacenan datos espaciales. Adicionalmente, incorpora herramientas interactivas, que permiten al usuario explorar y analizar la información, realizar consultas espaciales y responder preguntas específicas a partir de su análisis.

Estos mapas pueden ser alojados y gestionados en plataformas especializadas como ArcGIS Online, Google Maps API o OpenLayers, lo que facilita su integración en geoportales y aplicaciones web [44].

Servidor web:

Un servidor web es un sistema compuesto por hardware y software cuya función principal es almacenar, gestionar y distribuir información a través de la web. En términos de hardware, se trata de un equipo físico o una máquina virtual encargada de alojar los archivos y datos de un sitio web, permitiendo su acceso en línea por parte de los usuarios. Este dispositivo actúa como un intermediario entre el contenido almacenado y los navegadores web, facilitando la comunicación y el intercambio de información en tiempo real.

Por otro lado, el software del servidor web regula el acceso a la información mediante la interpretación de solicitudes enviadas a través de URLs y comandos HTTP o HTTPS. Al recibir una petición de un usuario, el software procesa la solicitud, localiza el recurso solicitado y lo envía al navegador en el formato adecuado. Para acceder a estos sitios, los usuarios emplean dominios asignados a cada página web, lo que les permite interactuar con los contenidos de manera fluida y estructurada dentro del entorno digital. Gracias a estos servidores, es posible mantener sitios web disponibles en línea de manera continua, asegurando que la información sea accesible desde cualquier parte del mundo [45].

Geovisor:

Un geovisor es una herramienta digital integrada en un sitio web que permite la visualización, consulta y análisis de información geoespacial. Su función principal es facilitar la exploración de datos espaciales mediante mapas interactivos, ofreciendo a los usuarios la posibilidad de interpretar y analizar la información de manera intuitiva y accesible. Estos visores cartográficos operan a través de internet, permitiendo el acceso remoto a datos geográficos en tiempo real [46].

Interfaz de usuario (UI):

La interfaz de usuario (UI) es el componente visual y funcional de un sitio web, aplicación o software con el que interactúa el usuario final. Su diseño incluye elementos como botones, gráficos, imágenes y secciones de información, los cuales han sido estructurados por los desarrolladores para facilitar la navegación y mejorar la experiencia del usuario [47].

Existen diferentes tipos de interfaces, entre ellas la interfaz de lenguaje natural, que permite la interacción mediante comandos escritos o hablados; la interfaz de preguntas y respuestas, en la que el sistema responde con base en entradas específicas del usuario; y la interfaz gráfica (GUI), que es la más utilizada en aplicaciones modernas y se caracteriza por el uso de iconos, menús y elementos visuales intuitivos. Una UI bien diseñada no solo hace que la información sea accesible, sino que también optimiza la usabilidad y eficiencia del sistema, permitiendo una interacción fluida y efectiva [47].

7.2. Marco Referencial

Los sistemas de información geográfica (SIG) han sido progresivamente incorporados en el ámbito de la epidemiología y la salud pública. Su capacidad para analizar patrones espaciales

de enfermedades infecciosas resulta fundamental para comprender sus causas y efectos. En la actualidad, los SIG se emplean con mayor frecuencia para examinar la distribución espacial de enfermedades, ya que permiten la integración y análisis de datos relacionados con factores patógenos, como agentes causales, pacientes, vectores y huéspedes, junto con su entorno geográfico. Asimismo, los SIG facilitan el seguimiento temporal de problemas de salud, permitiendo visualizar la evolución dinámica de las enfermedades con mayor precisión que los métodos tabulares tradicionales. Esta tecnología, al posibilitar una representación espacial de los datos, contribuye significativamente en el diseño de políticas de prevención y estrategias de acción en salud pública [4].

Uno de los ámbitos en los que los SIG han sido aplicados es el análisis de inequidades en el acceso a servicios de salud. En este contexto, [5] realizó un estudio en diversas ciudades de Canadá en el que se analizó la distribución de los servicios de salud y las disparidades en su acceso. A través de esta investigación, se evidenció cómo los SIG permiten examinar y representar espacialmente la distribución desigual de la infraestructura sanitaria, identificando áreas con limitaciones en la cobertura de los servicios médicos.

Además de analizar desigualdades en el acceso a servicios de salud, los SIG también han demostrado su utilidad en el estudio de enfermedades infecciosas. En este sentido, [6] llevó a cabo un estudio en Honduras sobre la distribución espacial del dengue durante el período 2016-2019, utilizando SIG para mapear la incidencia del virus en el país. La cartografía generada permitió identificar zonas con mayor prevalencia de la enfermedad, considerando factores climáticos, geográficos y epidemiológicos que favorecen su propagación. Gracias a este análisis, las autoridades sanitarias pudieron desarrollar políticas de prevención y control más eficientes, así como diseñar estrategias específicas de salud pública para mitigar la propagación del virus. Además, la información cartográfica facilitó la orientación a viajeros sobre áreas de alto riesgo epidemiológico, subrayando la importancia de la vigilancia y mapeo de enfermedades arbovirales como una prioridad en salud pública.

Otro caso en el que los SIG han demostrado ser una herramienta clave en la planificación y distribución de recursos en salud es el estudio realizado por [7] en Lesotho, Sudáfrica. En este país, se había identificado una problemática relacionada con la distribución desigual de los servicios de salud, los cuales se encontraban concentrados en ciertas regiones específicas, limitando el acceso a poblaciones rurales. Mediante el uso de SIG, se recopiló información sobre la ubicación de los centros de salud y la distribución demográfica de la población, lo que permitió generar estrategias para la planificación y ubicación de nuevas infraestructuras sanitarias. Como resultado del análisis espacial, se identificaron áreas prioritarias para la construcción de nuevos centros de salud, facilitando la mejora en la cobertura de atención médica en las zonas más vulnerables.

En un ámbito diferente, [8] aplicó los SIG para la integración de datos sobre la calidad del agua subterránea y su relación con riesgos probabilísticos para la salud humana en la ciudad de Adama, Etiopía. Mediante la superposición de capas de información geográfica, se ubicaron los pozos estudiados y se representaron los resultados de los análisis fisicoquímicos del agua. Esta metodología permitió identificar zonas con niveles críticos de contaminación, proporcionando

información esencial para la gestión del recurso hídrico y la prevención de riesgos sanitarios asociados al consumo de agua contaminada.

Finalmente, [9] aplicó un enfoque basado en SIG para el mapeo espacial de la enfermedad diarreica aguda en Chennai, Tamil Nadu, India. A través de un análisis espacial multivariado, se identificaron zonas críticas con una alta incidencia de casos reportados, así como áreas con menor presencia de la enfermedad. Este análisis permitió establecer relaciones entre la distribución de la enfermedad y factores ambientales, facilitando el diseño de políticas preventivas por parte de las autoridades sanitarias. Como resultado, se implementaron estrategias de intervención focalizadas en mitigar la propagación de la enfermedad y mejorar la planificación de recursos en salud pública.

En conjunto, estos estudios demuestran que los SIG no solo son una herramienta tecnológica, sino un enfoque metodológico esencial para abordar problemas complejos en salud pública. Su capacidad para integrar, analizar y visualizar datos espaciales permite una toma de decisiones fundamentada en evidencia geoespacial y temporal, optimizando la asignación de recursos y el diseño de estrategias de intervención más efectivas.

A diferencia de los antecedentes mencionados, el presente trabajo de grado introduce un componente innovador al integrar datos oficiales del SIVIGILA con un enfoque de análisis espacial multiescalar, que combina tanto la dimensión temporal como la territorial. Esta integración permitió identificar patrones de concentración de casos de desnutrición aguda infantil a nivel de comunas, barrios y corregimientos, complementando el análisis con series mensuales para captar la evolución dinámica del fenómeno. Adicionalmente, la implementación de un geoportal interactivo basado en ArcGIS Online constituye un valor agregado, al ofrecer a las instituciones de salud y a los tomadores de decisiones una plataforma accesible, dinámica y de uso público. En conjunto, estos elementos metodológicos marcan una diferencia frente a otros estudios revisados, consolidando un aporte novedoso en la aplicación de los SIG a problemáticas de salud pública en el contexto colombiano.

7.3. Marco Teórico

Distancia de Mahalanobis

Para la detección de valores atípicos en los datos analizados, se utilizó la distancia de Mahalanobis, la cual se calcula a partir del vector de medias muestral $\bar{x}_n$, y la matriz de covarianza muestral S_n , definida como:

$$S_n = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)(x_i - \bar{x}_n)^T \quad (1)$$

A partir de esta matriz, la distancia de Mahalanobis para cada observación x_i se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$MSD = \sqrt{(x_i - \bar{x}_n)^T S_n^{-1} (x_i - \bar{x}_n)} \quad (2)$$

Donde:

- x_i representa la observación individual en el conjunto de datos,
- $\bar{x}$ es el vector de medias de las variables,
- S_n^{-1} es la inversa de la matriz de covarianza muestral.

El criterio para determinar estos valores se estableció con base en los cuantiles de la distribución chi-cuadrado (X^2), considerando como atípicas aquellas observaciones con una distancia superior al umbral del 97.5%. [13].

En este estudio, la distancia de Mahalanobis se implementó en la fase 1 del análisis exploratorio de datos con el propósito de identificar registros que pudieran clasificarse como valores atípicos.

Factor de Outlier Local:

Para la detección de valores atípicos a nivel local, se utilizó el método Local Outlier Factor (LOF), definido matemáticamente como:

$$LOF_A = \frac{\frac{1}{3}(DPL_D + DPL_B + DPL_C)}{DPL_A} \quad (3)$$

Donde:

- DPL_A representa la densidad local del punto A ,
- DPL_D, DPL_B, DPL_C corresponden a las densidades locales de sus vecinos más cercanos.

Si $LOF_A \approx 1$, el punto A tiene una densidad similar a la de sus vecinos, por lo que no se considera una anomalía. Si $LOF_A > 1$, la densidad del punto es menor que la de sus vecinos, lo que indica una posible anomalía. Valores significativamente altos de LOF sugieren la presencia de outliers locales [21].

En este estudio, la metodología LOF se implementó como complemento a la distancia de Mahalanobis para la detección de valores atípicos en los registros de datos. Su aplicación permitió evaluar discrepancias entre ambos métodos, identificando coincidencias y detectando posibles anomalías adicionales no evidenciadas por la distancia de Mahalanobis.

Imputación de datos por K-Nearest Neighbors (KNN):

Para la imputación de valores ausentes en el conjunto de datos, se utilizó el método de k vecinos más cercanos (k-NN). La distancia entre observaciones se calculó mediante la distancia euclidiana, definida por la ecuación [22]:

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad (4)$$

Donde:

- x_i y y_i representan los valores de las variables en las observaciones comparadas,

- n es el número de variables consideradas,
- $d(x, y)$ es la distancia entre los puntos x y y .

En este estudio, el método k-NN se aplicó en la fase 1 del análisis exploratorio de datos, posterior a la limpieza de datos, con el objetivo de imputar valores faltantes en la base de datos utilizada.

Cálculo de densidad espacial:

Para determinar la concentración de pacientes detectados en el área de estudio, se utilizó el cálculo de densidad espacial, basado en la ecuación fundamental de densidad [34]:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

Donde:

- ρ representa la densidad,
- m es la masa,
- V es el volumen.

Dado que en este estudio no se trabaja con propiedades físicas de materia, sino con la distribución de pacientes en una unidad geográfica, esta ecuación fue adaptada para expresar la densidad de casos en función del número de pacientes (N) y el área de estudio (A):

$$D = \frac{N}{A} \quad (6)$$

Donde:

- D es la densidad de casos en la unidad espacial analizada
- N es el número de pacientes detectados dentro de la unidad espacial de estudio
- A representa el tamaño del área en la que se distribuyen los casos (barrio, comuna, corregimiento)

Esta ecuación fue implementada en el desarrollo del objetivo 2, en el análisis espacial de datos, con el propósito de evaluar la distribución de los casos de desnutrición en función del área de estudio.

Cálculo del área de un polígono:

Para el cálculo del área de polígonos, la ecuación más utilizada es la basada en el Teorema del Cordón [(Shoelace Theorem) [35], ya que permite calcular el área de un polígono definido por sus vértices en un sistema de coordenadas planas.

$$A = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^n (x_{1+i} + x_1)(y_{y+1} - y_1) \right| \quad (7)$$

Donde:

- A representa el área del polígono,
- (x_i, y_i) son las coordenadas de los vértices del polígono,
- n es el número total de vértices
- Se asume que el primer y el último vértice coinciden para cerrar el polígono, es decir, $x_{n+1} = x_1$ y $y_{n+1} = y_1$

Esta ecuación fue implementada en el objetivo 2 del estudio para calcular las áreas de las capas de tipo polígono en el análisis espacial. En ArcGIS Pro, el cálculo del área de polígonos se realiza mediante herramientas geoespaciales que internamente emplean este principio matemático para determinar las superficies dentro de un sistema de referencia espacial.

Cálculo del Centroide de un Polígono:

Para determinar el centroide de un polígono, se emplea la ecuación basada en la distribución de sus vértices ponderados por su área. El cálculo se expresa mediante las siguientes fórmulas [36]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i x_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (8)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i y_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (9)$$

Donde:

- $\bar{x}, \bar{y}$ representan las coordenadas del centroide del polígono,
- A_i es el área de la subregión i dentro del polígono,
- (x_i, y_i) son las coordenadas del centroide de cada subregión,
- n es el número total de subdivisiones del polígono.

Este método permite obtener el punto de equilibrio geométrico del polígono, considerando la distribución de su área en el espacio.

En este estudio, la ecuación se aplicó en el objetivo 2 como parte del análisis espacial de datos, permitiendo identificar la ubicación central de los polígonos analizados dentro de la base de datos geográfica.

Índice de Morán (I Global de Morán):

El Índice Global de Moran es una medida estadística utilizada para evaluar la autocorrelación espacial de una variable en un conjunto de datos geoespaciales. Su cálculo se basa en la siguiente ecuación [37]:

$$I = \frac{n}{S_o} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (10)$$

Donde:

- I representa el índice de autocorrelación espacial de Moran,

- z_i es la desviación de la variable en la unidad espacial i con respecto a su media, definida como $z_i = X_i - \bar{x}$
- w_{ij} es la ponderación geográfica que indica la relación espacial entre las unidades i y j ,
- n es el número total de unidades espaciales
- S_o es una constante de normalización para todas las unidades espaciales.

En este estudio, el Índice de Moran fue aplicado en el objetivo 2 para realizar el análisis de autocorrelación espacial, evaluando la distribución de los casos de desnutrición en el área de estudio y determinando la presencia de patrones espaciales significativos.

Índice local de Morán (Índice de LISA):

El Índice de Moran Local (LISA, por sus siglas en inglés) se expresa mediante la siguiente ecuación [39]:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_{i=j}^n (x_i - \bar{x})^2 / n} \quad (11)$$

Donde:

- I_i representa el índice local de Moran en la unidad espacial i ,
- x_i es el valor de la variable en la unidad espacial i ,
- $\bar{x}$ es la media de la variable en toda la región de estudio,
- w_{ij} es la ponderación espacial que indica la relación entre las unidades espaciales i y j ,
- n es el número total de unidades espaciales.

En este estudio, este índice se implementó dentro del objetivo 2, complementando el Índice de Moran Global, pero enfocándose en una interpretación local de la autocorrelación espacial, facilitando la identificación de agrupamientos de valores altos o bajos en la variable analizada.

Distancia euclidiana:

Teniendo en cuenta que la distancia euclidiana es una métrica utilizada para calcular la separación entre dos puntos en un espacio cartesiano. En el caso de un espacio bidimensional (2D), la distancia entre dos puntos $A(x_1, y_1)$ y $B(x_2, y_2)$ se obtiene mediante la siguiente ecuación [40]:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (12)$$

Donde:

- d representa la distancia euclidiana entre los puntos A y B ,
- x_1, y_1 son las coordenadas del primer punto,
- x_2, y_2 son las coordenadas del segundo punto.

En este estudio, la distancia euclidiana fue utilizada en el objetivo 2 para calcular la distancia entre cada paciente y la Institución Prestadora de Salud (IPS) en la que fue atendido.

8. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada para este proyecto se estructura en cuatro fases, abarcando un total de diez actividades clave. En la Figura 1 se presenta una síntesis del plan de trabajo propuesto. A continuación, se describe en detalle cada uno de los procedimientos implementados para la ejecución de este estudio.

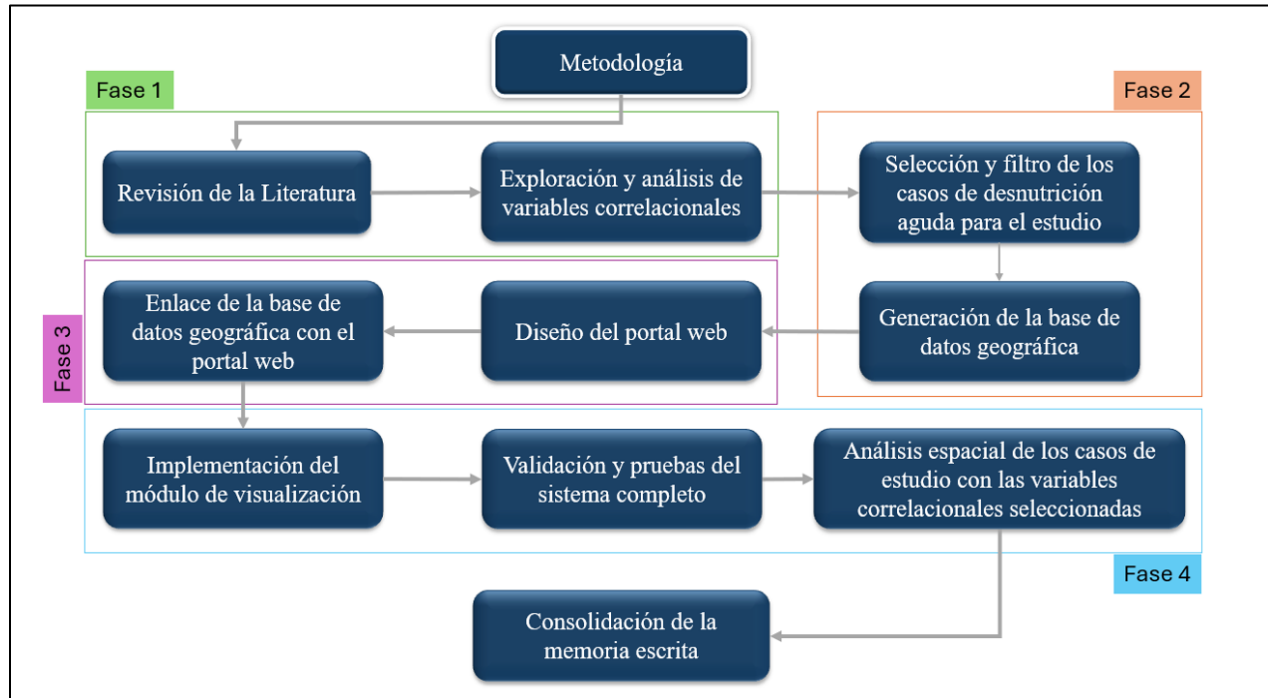


Figura 1: Plan de trabajo y estructura metodológica

Fuente: Elaboración propia

8.1. Fase 1 Diagnóstico y análisis exploratorio del problema

La primera fase metodológica comprende tres actividades principales. La primera de ellas es la revisión bibliográfica, cuyo propósito fue analizar cómo ha sido abordada esta problemática en diferentes contextos a nivel mundial. Este análisis permitió identificar metodologías empleadas por otros autores para la selección y clasificación de variables correlacionales, proporcionando una perspectiva más amplia para estructurar el presente estudio. De este modo, fue posible adaptar y acoplar diversos enfoques metodológicos a las particularidades de esta investigación, permitiendo desarrollar la segunda actividad, la cual consistió en la exploración y análisis de variables correlacionales, finalmente en la tercera parte de esta fase se llevó a cabo el análisis bivariado de datos. En la Figura 2 se presenta una síntesis del plan de trabajo propuesto. A continuación, se describe en detalle cada uno de los procedimientos implementados para la ejecución de esta fase.

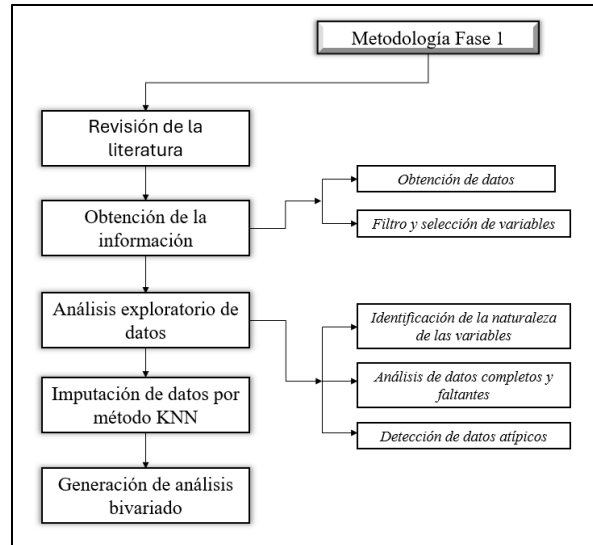


Figura 2. Diagrama de flujo de la fase 1

Fuente: Elaboración propia

8.1.1. Actividad 1: Revisión de la literatura.

El desarrollo de este proyecto inició con una revisión bibliográfica exhaustiva, cuyo propósito fue establecer un marco conceptual sólido y definir el enfoque metodológico más adecuado para la investigación. Para ello, se consultaron diversas fuentes de información, priorizando bases de datos científicas de alto impacto como ScienceDirect, SciELO y Google Scholar, debido a su amplia colección de artículos especializados y confiables. Asimismo, se incluyeron informes de organismos internacionales (UNICEF, OMS) y documentos oficiales nacionales del Ministerio de Salud, el ICBF y el INS, lo que permitió abarcar tanto perspectivas globales como locales.

El proceso de búsqueda se guió por parámetros claros para asegurar que la información fuera relevante y actualizada. En primer lugar, se limitaron los resultados a publicaciones posteriores al año 2010, para trabajar con datos recientes. Además, se usaron combinaciones de palabras clave como "desnutrición infantil aguda", "SIG", "análisis espacial" y "alimentación para la primera infancia", lo que ayudó a encontrar materiales directamente relacionados con el tema. Finalmente, se eligieron las fuentes más útiles después de analizar su calidad, su enfoque y qué tanto contribuían a los fundamentos de esta investigación.

8.1.2. Actividad 2: Exploración y análisis de variables correlacionales.

En esta etapa, se realizó el proceso completo desde la obtención de la información con las variables de estudio hasta la ejecución del análisis bivariado.

Obtención de datos.

Este estudio se basa en la información recopilada por la Red de Salud del Oriente de Cali (RSOC), un consorcio de instituciones prestadoras de servicios de salud que atienden a las comunas 13, 14, 15 y 21 de la ciudad, durante el período 2022–2023. Dichos datos, registrados oficialmente en el

Sistema de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA), fueron gestionados y obtenidos en el marco de la investigación previa desarrollada por Reyes Balcázar y Cortés Arismendi [2], quienes realizaron la solicitud formal y contaban con la autorización correspondiente. En calidad de pares académicos, compartieron esta base de datos para el presente trabajo, constituyéndose en el insumo principal para el análisis realizado. La información fue recibida en formato de hoja de cálculo (Excel) y contenía registros detallados de cada caso, incluyendo variables demográficas (edad, género, ubicación), antecedentes clínicos, manifestaciones sintomáticas, parámetros antropométricos, fechas de atención y códigos de clasificación relevantes para la vigilancia epidemiológica.

Filtro y selección de variables.

Una vez obtenidos los datos del SIVIGILA a través de la base de datos compartida por los autores de [2], se realizó un proceso de filtrado y selección de variables sustentado en los hallazgos de la revisión bibliográfica. En particular, se tomaron como referencia los estudios de [52] y [53], que analizan factores correlacionados con la desnutrición aguda infantil, identificando así las variables coincidentes entre la literatura científica y los registros del sistema de vigilancia. Para validar esta selección y garantizar su pertinencia, se contó con el acompañamiento de una pediatra del Centro de Salud Club Noel —institución especializada en atención a la primera infancia en Cali— y de una nutricionista del ICBF, quienes confirmaron la idoneidad de las variables escogidas para los objetivos de esta investigación.

8.1.3. Actividad 3. Análisis exploratorio de datos.

Una vez seleccionadas las variables de estudio, se procedió con el análisis exploratorio de los datos (AED) en el software RStudio. Para este proceso, se emplearon distintos códigos con el objetivo de evaluar la calidad y estructura de la información antes de su procesamiento. A continuación se detallan los códigos utilizados y su propósito en cada etapa del AED.

El primer paso consistió en la identificación de la naturaleza de las variables, determinando si eran categóricas o numéricas, y generando un resumen estadístico preliminar de cada una. Para ello, se implementó un script en R que utilizó la librería *skimr* para obtener resúmenes estadísticos concisos (como distribución, valores extremos y detección de valores faltantes), junto con la librería *readxl* para la importación de los datos desde el archivo en formato Excel. El código completo, que incluyó la caracterización automática de variables y la generación de estadísticos mediante la función *skim()*, se encuentra disponible en el siguiente vínculo. [vínculo](#).

Posteriormente, se realizó un análisis de datos completos y faltantes, con el propósito de identificar los valores disponibles e identificar patrones de vacíos en los registros. Este proceso se implementó mediante un script en R que incluyó en primera instancia, la transformación de ceros a valores nulos – NA - (excepto en la variable 'edad_años'), seguidamente el cálculo porcentual de datos presentes/ausentes por variable y, finalmente la visualización gráfica de patrones de datos faltantes los cuales se guardaron en formato .PNG para su análisis. Para este fin, se utilizaron las librerías *visdat* (para gráficos de faltantes) y *dplyr* (para manipulación de datos), como se detalla en el código disponible en el siguiente vínculo. [vínculo](#).

Adicionalmente, se generó una representación gráfica en la que el color gris indica la presencia de datos, mientras que el color negro evidencia los valores faltantes. Dicho gráfico se muestra en la Figura 3.

Como se puede observar en la figura 3, a pesar de que la mayoría de los datos está completa, existe un 3.3% de datos faltantes distribuidos a lo largo de todas las variables.

Posterior a la obtención de esta información, se realizó un análisis para la detección de posibles datos atípicos. Para ello, se emplearon dos métodos: en primer lugar, se utilizó la distancia de Mahalanobis para identificar anomalías de manera general en el conjunto de datos; posteriormente, se aplicó el algoritmo Local Outlier Factor (LOF) con el fin de detectar valores atípicos en función de su vecindario local.

Este proceso permitió identificar registros de pacientes que contenían valores anómalos, los cuales podían generar ruido en el análisis. Una vez detectados estos casos en el repositorio de datos, se procedió a su verificación y eliminación, garantizando así la integridad y calidad del conjunto de datos para las siguientes etapas del estudio.

8.1.4. Actividad 4. Imputación de datos por el método K-Nearest Neighbors (KNN).

Una vez completado el proceso de detección y eliminación de datos atípicos, se procedió con la imputación de datos faltantes. Para ello, se utilizó el algoritmo K-Nearest Neighbors (KNN) implementado en RStudio, el cual permitió estimar y completar los valores ausentes en el repositorio de datos. El código utilizado para este procedimiento se encuentra disponible en el siguiente [vínculo](#).

Mediante este método, se logró completar la totalidad de los datos, asegurando así la consistencia del conjunto de información.

8.1.5. Actividad 5. Análisis bivariado.

Luego de finalizar el análisis exploratorio de datos y contar con la totalidad de los registros procesados, se procedió a realizar el análisis bivariado con el objetivo de completar la caracterización de las variables de estudio. Para este proceso, las variables fueron clasificadas en dos tipos principales: variables cuantitativas (numéricas) y variables cualitativas (categóricas).

Las variables cuantitativas corresponden a aquellas cuyos valores son numéricos y medibles. Por otro lado, las variables cualitativas representan categorías o clasificaciones.

Esta clasificación permitió determinar el tipo de visualización gráfica más adecuado para cada conjunto de datos, facilitando una mejor interpretación de su comportamiento. Para las variables cuantitativas, se generaron gráficos de cajas y bigotes (boxplots), los cuales permitieron analizar la distribución estadística. Para las variables cualitativas, se emplearon gráficos de barras, en los cuales se representó la distribución porcentual de cada categoría con respecto a la variable independiente.

Es importante destacar que este análisis bivariado se realizó en relación con una variable dependiente y una variable independiente. Dado que la totalidad de la población en estudio presenta desnutrición aguda, se utilizó la variable Z-score peso/talla para realizar una clasificación más precisa de los casos, distinguiendo entre desnutrición aguda moderada y severa. Esta categorización se llevó a cabo con base en los criterios establecidos en [20], donde se indica que:

- Desnutrición aguda moderada: P/T entre -2 y -3 desviaciones estándar (DE) con respecto al patrón de referencia.
- Desnutrición aguda severa: P/T menor a -3 DE.

Con base en esta clasificación, la variable independiente corresponde al grado de desnutrición de cada paciente, mientras que las variables dependientes son todas aquellas seleccionadas como correlacionales.

Este procedimiento se llevó a cabo utilizando el software RStudio, y el código correspondiente se encuentra disponible en el siguiente [vínculo](#).

8.2. Fase 2 Diseño e implementación de la Base de Datos Geográfica

En esta fase se llevó a cabo la construcción de la Base de Datos Geoespacial (BDG), la cual incluyó el diseño y desarrollo de los modelos conceptual, lógico y físico, así como el proceso de normalización de los datos. Para la definición de los atributos, se consideró la lógica del mundo real relacionada con el proyecto, asegurando una estructura coherente y representativa. La base de datos fue alimentada con información proveniente de diversas fuentes, entre las cuales destacan IDESC y SIVIGILA.

Una vez completado el diseño y estructuración de la base de datos, se procedió con su implementación en el software ArcGIS Pro versión 3.2.2. A través de este sistema de gestión de bases de datos espaciales, se generaron las relaciones, proyecciones y diferentes geoprocursos que se expondrán en detalle a continuación. Además, se crearon salidas gráficas que facilitaron la visualización y análisis de los datos geoespaciales.

En la Figura 3 se presenta una síntesis del plan de trabajo propuesto. A continuación, se describe en detalle cada uno de los procedimientos implementados para la ejecución de esta fase.

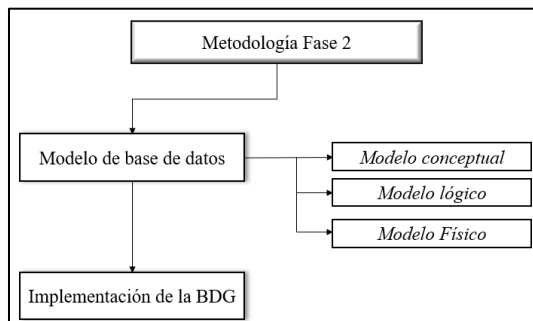


Figura 3. Diagrama de flujo de la fase 2

Fuente: Elaboración propia

8.2.1. Actividad 1. Modelo de base de datos.

El desarrollo del modelo de datos inició con la construcción del modelo conceptual, el cual se fundamentó en la lógica del mundo real aplicada al proyecto. Para ello, se utilizó la plataforma web app.diagrams.net, permitiendo representar de manera estructurada las entidades, atributos y relaciones involucradas en el sistema.

El modelo conceptual se diseñó bajo un esquema estructurado de tipo entidad-relación, conformado por un total de 13 entidades, cada una con sus respectivos atributos y relaciones. La selección de estas entidades se realizó mediante reuniones con profesionales del área de ingeniería topográfica, una nutricionista del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF), un sociólogo con énfasis en problemáticas sociales y un pediatra, con el fin de garantizar la pertinencia y representatividad de la información. Algunas entidades fueron tomadas de la Infraestructura de Datos Espaciales de Santiago de Cali (IDESC), incorporando atributos sugeridos por los expertos, mientras que otras fueron construidas a partir de los datos reportados por el SIVIGILA, en consulta con profesionales del sector salud.

De esta manera, el modelo conceptual no solo respondió a criterios técnicos de la ingeniería topográfica, sino que también integró la perspectiva de profesionales en salud y ciencias sociales, asegurando que la estructura de la base de datos fuera pertinente tanto en el plano geoespacial como en el análisis de la problemática social abordada.

En el diagrama, las entidades se representaron mediante rectángulos, los atributos mediante círculos y/u óvalos, y las relaciones a través de líneas. La definición de las relaciones entre entidades se llevó a cabo con el acompañamiento de un experto en bases de datos geográficas, teniendo en cuenta la lógica del mundo real. Este modelo conceptual constituye una base sólida para la posterior implementación del modelo lógico y físico de la base de datos.

Con base en el modelo conceptual previamente generado, se construyó el modelo lógico del sistema, empleando un enfoque relacional. En esta etapa, las entidades y sus atributos fueron reorganizados en forma de tablas, y se definieron los tipos de datos correspondientes para cada atributo, tales como varchar, integer, date y double, conforme a los requerimientos de almacenamiento y procesamiento.

Las relaciones entre entidades se establecieron de forma detallada, asignando un identificador único a cada tabla como clave primaria, y trasladando las claves foráneas a las tablas correspondientes, en cumplimiento de las reglas de normalización y traspaso de llaves. Para el diseño de este modelo se utilizó el software DBDesigner 4, que facilitó una estructuración clara y organizada de los datos, permitiendo representar gráficamente las relaciones y jerarquías.

La elección del modelo relacional se fundamentó en su capacidad para representar las entidades y relaciones identificadas en el modelo conceptual. Además, este modelo permitió validar la coherencia entre tablas, asegurar la integridad de los datos mediante la asignación de llaves primarias y foráneas, y facilitar la posterior implementación física de la base de datos.

Finalmente, como tercer paso en la generación de la base de datos, se construyó el modelo físico, en el cual se definió la estructura final de la base de datos geográfica (BDG). Para su representación, se elaboró un esquema gráfico con forma cilíndrica, que simboliza la base central

del sistema, desde la cual se desprenden los diferentes temas o áreas que agrupan de manera general cada conjunto de entidades.

Como el gestor de la base de datos geográfica empleado fue ArcGIS Pro de ESRI, se crearon datasets (conjuntos de datos) que permitieron clasificar y organizar las entidades según su función. Cada entidad fue asignada al dataset correspondiente, según su rol en el sistema. Además, se definió para cada entidad su respectiva geometría espacial (punto, línea o polígono), y se integraron siglas estandarizadas.

La representación física adoptada se construyó con base en criterios de jerarquización funcional y visualización estructurada, buscando reflejar fielmente la organización espacial y lógica del sistema, según recomendaciones del profesional en diseño de bases de datos. Este modelo físico consolidó finalmente la estructura base que se implementó en el gestor mencionado, sirviendo como referencia para la configuración y carga de datos en la plataforma.

8.2.2. Actividad 2. Implementación de la BDG en el Gestor de Bases de Datos:

Posterior a la creación de los modelos de datos y al diseño de la estructura final de la base de datos geográfica (BDG), se procedió con su implementación en el gestor de base de datos ArcGIS Pro, versión 3.2.2 de ESRI.

La elección de este software se fundamentó en su robustez para el manejo de información espacial, su capacidad para integrar herramientas de análisis geoespacial avanzado y su compatibilidad directa con la plataforma ArcGIS Online, lo cual permitió una transición eficiente desde el entorno de escritorio hacia la web.

Adicionalmente, la institución educativa cuenta con licencias oficiales de uso, tanto para ArcGIS Pro como para ArcGIS Online, lo que facilitó la implementación. Esta elección permitió desarrollar, analizar y publicar los datos del proyecto en un solo ambiente, favoreciendo la eficiencia operativa.

Si bien existen alternativas como QGIS o gestores como PostgreSQL/PostGIS, estos implicarían una mayor inversión de tiempo para su profundización en el aprendizaje y procesos de configuración más complejos. En este caso, se optó por ArcGIS Pro debido a la formación académica previa recibida en la herramienta, que garantizó un dominio más profundo de sus funcionalidades, asegurando así una ejecución más efectiva del proyecto.

Una vez seleccionado el gestor de base de datos, se estableció un entorno de trabajo estructurado en ArcGIS Pro, que permitió implementar los elementos definidos en el modelo físico. Se crearon datasets temáticos que agruparon las entidades según las tres clases previamente establecidas, y dentro de cada uno se generaron las capas correspondientes. A cada entidad se le asignaron los parámetros definidos en el modelo lógico: tipo de geometría, estructura de atributos y tipo de dato correspondiente. Una vez implementada la estructura del modelo físico en el gestor de base de datos, se procedió con la alimentación de las entidades con los datos correspondientes.

Las entidades barrios, comunas, corregimientos y áreas de expansión fueron alimentadas con datos obtenidos de capas geográficas generadas por la Infraestructura de Datos Espaciales de Santiago de Cali (IDESC), entidad oficial adscrita a la Alcaldía de Cali. Para su integración, se

utilizó el servicio WFS (Web Feature Service) disponible en el portal de la IDESC, estableciendo una conexión directa con su base de datos geoespacial.

Las capas se integraron al proyecto en ArcGIS Pro, conservando su sistema de referencia original EPSG:6249 (MAGNA Cali), adecuado para representar con precisión la cartografía de la zona de estudio. Estas capas estaban disponibles en formato vectorial, lo cual facilitó su incorporación y garantizó la consistencia con los estándares técnicos definidos por la entidad. La elección de la IDESC como fuente de información se basó en su carácter oficial, la calidad y actualización de sus datos.

Por su parte, las entidades municipio, zona urbana y zona rural fueron generadas mediante procesos de geoprocésamiento en ArcGIS Pro, con base en las entidades previamente integradas. En particular, la entidad zona urbana se obtuvo aplicando un proceso de disolución sobre el conjunto de barrios, mientras que la zona rural se generó a partir de los corregimientos. La entidad municipio fue producto de la fusión entre estas dos zonas.

Estos procesos no solo respondieron a necesidades técnicas de estructuración espacial, sino también a la necesidad de representar con fidelidad las realidades administrativas y sociales del territorio, permitiendo un manejo coherente de los datos para posteriores análisis demográficos y de salud pública. Para asegurar esta correspondencia, los atributos fueron ingresados y verificados manualmente, respetando los valores del mundo real establecidos en fuentes oficiales.

En el caso de la capa zona geográfica, fue necesario realizar una reconstrucción cartográfica, ya que la IDESC solo proporciona una representación visual no oficial, pues su finalidad es proporcionar a los usuarios una idea de la distribución zonal en la ciudad. Con base en este mapa de referencia, se llevó a cabo un proceso de disolución de los barrios, agrupándolos según su correspondencia con cada zona. Posteriormente, los límites fueron ajustados manualmente para reflejar lo más fielmente posible la división informal utilizada en la ciudad.

Todas estas capas, incluidas las generadas mediante geoprocésamiento, fueron finalmente integradas en la BDG, clasificadas dentro de los datasets correspondientes y asociadas con sus respectivas geometrías, atributos y relaciones espaciales, en concordancia con la estructura definida en el modelo físico

Es importante resaltar que, aunque la cartografía de zonas geográficas publicada por la IDESC fue tomada como referencia visual, la capa generada en este proyecto fue creada manualmente a partir de procesos propios de geoprocésamiento y edición cartográfica en ArcGIS Pro.

Esta capa, de elaboración propia, tiene un propósito fundamentalmente visual, y no constituye una fuente de datos oficial, ya que no existe una delimitación institucional formalizada de estas zonas. Su desarrollo tuvo como objetivo proporcionar una herramienta de representación geográfica que facilite la interpretación espacial de los análisis realizados en este proyecto, ubicando los resultados dentro de una distribución territorial aproximada de la ciudad que responde a las creencias locales y funcionales del territorio.

Para la generación de la entidad centros de atención médica, se utilizó como fuente de información la capa oficial disponible en la IDESC, originalmente en formato de polígonos. Esta

capa fue integrada al proyecto en ArcGIS Pro y correspondía al conjunto general de Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS) del municipio. Con el objetivo de identificar únicamente aquellas pertenecientes a la red de salud del oriente de Cali, se aplicó el geoproceto de unión espacial (spatial join), que permitió incorporar a cada IPS el atributo correspondiente a la comuna en la que se encuentra ubicada. Posteriormente, se realizó un filtrado por atributo, seleccionando únicamente las IPS localizadas en las comunas 13, 14, 15 y 21.

Finalmente, y alineado con la estructura definida en el modelo lógico, se aplicó el geoproceto de entidad a punto, con el fin de transformar la geometría de los centros de atención médica a formato punto, garantizando así la coherencia entre las representaciones gráficas y las especificaciones del modelo de base de datos.

Posterior a la extracción de estos centros, la información obtenida se utilizó para alimentar la capa creada en este proyecto, garantizando así la incorporación de datos específicos y relevantes para el análisis.

Luego de la integración de los datos de las entidades previas, se procedió con la alimentación de las capas correspondientes a la clase factores directos, utilizando como fuente principal la información contenida en el libro electrónico del SIVIGILA. Esta información incluía datos sobre pacientes, entre ellos su dirección de residencia, registrada bajo una estructura de nomenclatura catastral textual.

Para su correcta representación espacial, fue necesario llevar a cabo un proceso de migración de datos, el cual consistió en transformar estas direcciones en coordenadas geográficas que pudieran integrarse en la BDG.

La primera etapa consistió en la extracción de las direcciones de los pacientes en un archivo independiente, lo que permitió realizar un análisis exploratorio sobre la calidad de los datos. Se identificó que las direcciones no seguían una estructura estándar, ya que cada prestador de servicios de salud registró los datos de diferente forma y sin respetar las abreviaturas oficiales establecidas para la nomenclatura catastral. Ante esta situación, fue necesario desarrollar un diccionario de equivalencias, en el cual se establecieron correspondencias entre las diferentes variaciones encontradas y su forma estandarizada.

Una vez se logró la normalización de los datos, se implementó un proceso de geocodificación mediante un proceso de geocodificación automática en Python como parte de la migración del modelo de datos.

Para ello se utilizó la librería Geopy, que permite convertir descripciones de direcciones en coordenadas geográficas. Se emplearon dos servicios de geocodificación: Nominatim, basado en OpenStreetMap (OSM), y el servicio de geocodificación de ArcGIS Online proporcionado por Esri. Con el fin de optimizar el proceso y evitar bloqueos por exceso de solicitudes, se integró la herramienta RateLimiter, la cual permite controlar la velocidad de las peticiones enviadas a los servidores de geocodificación. El código utilizado se expone en el siguiente [vínculo](#).

Posterior a la ejecución del proceso, los valores obtenidos fueron incorporados en la capa correspondiente. Sin embargo, durante el proceso de geocodificación se detectó que, del total de 253 pacientes registrados en el SIVIGILA, 23 no pudieron ser geocodificados, debido a que en la

columna de dirección de residencia figuraba la anotación "SIN DATOS", impidiendo su conversión a coordenadas espaciales. Además, hubo un paciente el cual no registró ninguna información relevante para los análisis espaciales, por lo cual, fue eliminado de la fuente de información. Estas situaciones se consideraron como restricciones propias del proceso metodológico de migración de datos y limpieza.

Por último, al verificar la consistencia del sistema de referencia, se verificó que los datos de los pacientes estaban proyectados en el sistema de referencia WGS 84, lo cual no coincidía con el sistema utilizado por las demás capas del proyecto (MAGNA Cali, EPSG:6249). Para garantizar la compatibilidad con la información extraída de la IDESC y permitir el desarrollo de los análisis espaciales posteriores, se realizó la reproyección de la capa de pacientes al sistema de coordenadas 6249 MAGNA-SIRGAS Cali.

Luego de contar con la base de datos completamente estructurada en el gestor de base de datos, se procedió a establecer las relaciones entre entidades, siguiendo el esquema definido en el modelo conceptual.

8.3. Fase 3 y 4. Desarrollo e integración del geoportal web / Análisis espacial y visualización de resultados

En esta fase se llevó a cabo el desarrollo e implementación del geoportal, cuyo propósito es facilitar el monitoreo continuo de la evolución espacio-temporal de los casos de desnutrición aguda en la zona de estudio. Para lograrlo, se diseñó una arquitectura funcional basada en modelos conceptuales y lógicos, garantizando una estructura organizada para la gestión, análisis y visualización de los datos.

Como parte fundamental del sistema, se implementó también un módulo de visualización que permite la integración de cartografía, paneles de control y gráficos estadísticos, facilitando la exploración de variables correlacionales y el análisis espacio-temporal de la información. Este módulo proporciona herramientas interactivas que permiten a los usuarios comprender la distribución de los casos y evaluar patrones espaciales dentro del geoportal. En la Figura 4 se presenta una síntesis del plan de trabajo propuesto.

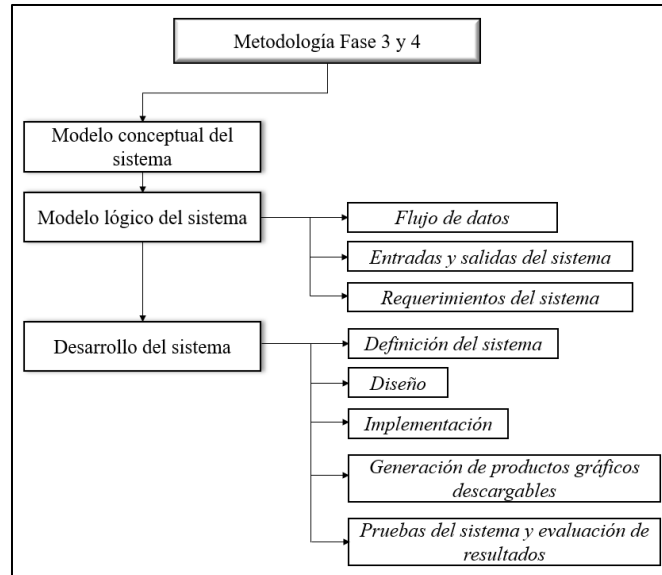


Figura 4. Diagrama de flujo de la fase 3 y 4

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describen los componentes metodológicos seguidos para la construcción del geoportal y su módulo de visualización, asegurando que la información procesada sea accesible, interactiva y útil para la toma de decisiones.

8.3.1. Actividad 1. Modelo conceptual del sistema

Para garantizar un diseño estructurado y funcional del geoportal, se elaboró el modelo conceptual del sistema, el cual se presenta en la figura 5. Este modelo representa, de forma esquemática, la relación entre los diferentes componentes que conforman el sistema, permitiendo visualizar el flujo de datos, las interacciones entre los módulos y el rol específico de cada entidad dentro de la arquitectura general.

Su diseño fue desarrollado por el autor del proyecto, con base en buenas prácticas de arquitectura de sistemas de información geográfica en la web, tomando como referencia el funcionamiento de geoportales institucionales. Aunque no se llevaron a cabo mesas de trabajo con usuarios o entidades externas, el modelo fue conceptualizado considerando las funcionalidades necesarias para los públicos objetivo del portal: usuarios generales, investigadores y tomadores de decisiones, interesados en la consulta y análisis de datos espaciales relacionados con la desnutrición infantil aguda.

El modelo conceptual constituye la base para la implementación del geoportal, asegurando que su estructura y funcionalidades se encuentren alineadas con los objetivos del proyecto. A través de este esquema se establecieron las conexiones entre la base de datos geográfica (BDG), el módulo de visualización y análisis, los tableros de control, el geovisor y la interfaz de usuario, optimizando tanto la integración de los datos como la experiencia interactiva de los usuarios.

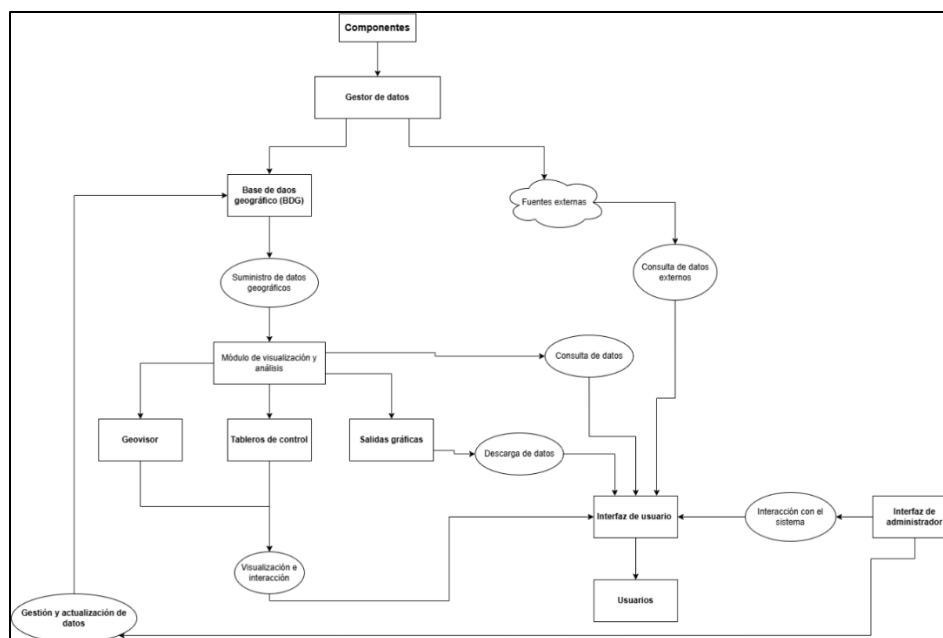


Figura 5. Modelo conceptual del sistema

Fuente: Elaboración propia

8.3.2. Actividad 2. Modelo lógico del sistema

El sistema fue diseñado bajo una arquitectura modular, entendida como una estructura compuesta por varios módulos funcionales independientes pero interconectados, cada uno responsable de una tarea específica dentro del flujo de datos. Esta arquitectura permite una organización clara del sistema, facilita el mantenimiento y actualización de componentes, y mejora la escalabilidad del geoportal. Esta estructura garantiza la fluidez en el manejo de datos, facilitando el análisis espacio-temporal. En este proyecto, la arquitectura modular se implementa mediante la división del sistema en cuatro procesos principales:

- **Gestión de la base de datos:** Almacenamiento, actualización y administración de los datos espaciales y clínicos de los pacientes.
- **Procesamiento de datos espaciales:** Análisis y modelado de información geoespacial, incluyendo densidad de casos, correlaciones espaciales y proximidad a centros de salud.
- **Generación de salidas gráficas:** Creación de mapas, gráficos estadísticos y reportes para la interpretación de los datos.
- **Interacción con el usuario:** Acceso a información mediante un geovisor, tableros de control y herramientas de consulta disponibles para el usuario en el geoportal.

Flujo de datos.

El flujo de datos en el sistema sigue una secuencia estructurada que permite la correcta integración, procesamiento y visualización de la información, desde la incorporación de datos hasta su presentación final al usuario. A continuación, se resume este proceso mediante un esquema (ver Figura 6, que representa las principales etapas del flujo y sus respectivas funciones dentro del sistema.

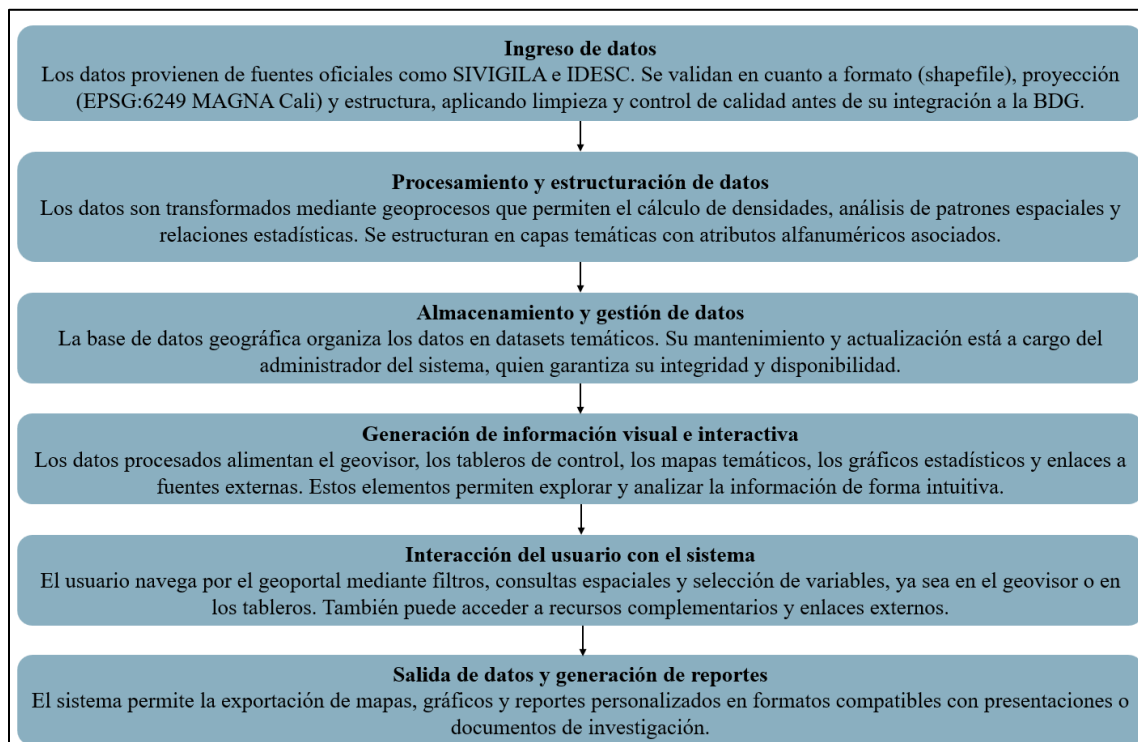


Figura 6. Etapas de flujo y funciones dentro del sistema

Fuente: Elaboración propia

Esta representación gráfica facilita la comprensión del recorrido de los datos, evidenciando cómo se transforman y circulan dentro de los diferentes módulos del sistema, hasta llegar al usuario final.

Entradas y salidas del sistema.

A continuación, se presenta la tabla 1, donde se describen los principales procesos del sistema junto con las entradas requeridas y las salidas generadas por cada uno. Esta estructura permite identificar cómo se transforma la información a lo largo del sistema y cómo cada módulo contribuye a la funcionalidad general del geoportal.

Tabla 1: Relación entre procesos, entradas y salidas del sistema

Proceso	Entradas	Salidas
Gestión de la BDG	Recolectar datos clínicos de pacientes (SIVIGILA), datos espaciales (IDESC), datos sociodemográficos, geocodificación de direcciones	Estructurar y actualizar la base de datos geográfica (BDG) estructurada y actualizada
Procesamiento de datos espaciales	Procesar datos clínicos y espaciales de la BDG, capas geográficas de IDESC	Generar mapas de calor, mapas de densidad, análisis de autocorrelación espacial (Moran y LISA), análisis de proximidad
Generación de geovisor	Integrar la BDG estructurada, análisis espaciales generados	Visualizar un mapa interactivo donde el usuario puede aplicar filtros y hacer consultas de los datos espaciales
Generación de tableros de control	Filtrar datos clínicos y espaciales filtrados	Visualizar gráficamente los datos estadísticos y métricas clave, con filtros por variables
Producción de salidas gráficas	Analizar datos cuantitativos y espaciales	Generar gráficos estadísticos, mapas de análisis espacial y tablas con resúmenes estadísticos descargables

Acceso a guías y fuentes externas	Recopilar información de entidades oficiales y bases de datos externas	Brindar acceso a documentos y recursos complementarios de entidades oficiales
--	--	---

(Fuente: Elaboración propia)

Cada uno de los procesos descritos en la tabla anterior se traduce en herramientas interactivas disponibles para el usuario en el geoportal, implementadas mediante tecnologías del entorno ArcGIS Online, específicamente ArcGIS WebApp builder y ArcGIS Experience Builder. La elección de estas aplicaciones se basó en su compatibilidad con la base de datos desarrollada en ArcGIS Pro, su capacidad para integrar análisis espaciales, y la disponibilidad de licencias institucionales.

- **Geovisor:** Desarrollado en ArcGIS Web AppBuilder, permite explorar el mapa, activar y desactivar capas, aplicar filtros espaciales, consultar atributos de los datos y hacer mediciones básicas.
- **Tableros de control:** Implementados con ArcGIS Experience Builder, ofrecen visualización interactiva de estadísticas con opción de filtrar datos según el nombre o ubicación espacial de los barrios.
- **Salidas gráficas:** Comprenden mapas temáticos, gráficos estadísticos y reportes, los cuales pueden descargarse en formatos PDF.
- **Guías y fuentes externas:** Incorporadas como vínculos en la interfaz, redireccionan a sitios web oficiales con información complementaria sobre la desnutrición aguda, incluyendo normativas y recomendaciones de manejo.

Con el fin de garantizar que el geoportal cumpla con los objetivos definidos y brinde una experiencia de usuario eficiente, se establecieron los requerimientos funcionales que rigen el comportamiento del sistema. Estos requerimientos describen las funcionalidades esenciales que debe ofrecer la plataforma para permitir la gestión, consulta, análisis y visualización de los datos espaciales. A continuación, se presenta el listado detallado de estas funciones clave del sistema.

Requerimientos no funcionales del sistema.

1. **Integridad de los datos:** Los datos almacenados en la base de datos deben ser consistentes y evitar duplicaciones o registros erróneos. Se deben establecer restricciones para validar la información ingresada.
2. **Frecuencia de actualización:** La base de datos geográfica debe actualizarse periódicamente según la disponibilidad de nuevos reportes de casos de desnutrición para garantizar información actualizada y relevante.
3. **Acceso controlado:** Los usuarios con distintos roles tendrán permisos diferenciados. Mientras los usuarios generales podrán visualizar y consultar información, solo el administrador podrá modificar, eliminar o cargar nuevos datos en el sistema.

4. **Mantenimiento del sistema:** Se deben realizar revisiones periódicas del funcionamiento del geoportal para asegurar que las herramientas de consulta y visualización operen correctamente.
5. **Optimización de rendimiento:** Las capas de datos deben estar estructuradas de manera eficiente para minimizar los tiempos de carga y optimizar la experiencia del usuario.
6. **Compatibilidad y escalabilidad:** El sistema debe ser compatible con distintos dispositivos y navegadores, y permitir la incorporación de nuevas capas de información o funcionalidades en futuras actualizaciones.

Requerimientos funcionales del sistema.

1. El sistema debe permitir la visualización interactiva de los casos de desnutrición aguda infantil a través de un geovisor web.
2. El sistema debe permitir la selección de capas geográficas como barrios, comunas, centros de salud, zonas geográficas y pacientes.
3. El usuario debe poder consultar atributos espaciales y alfanuméricos al hacer clic sobre los elementos del mapa.
4. El sistema debe permitir la visualización de dashboards con estadísticas dinámicas, métricas y gráficos filtrables.
5. El sistema debe permitir al administrador cargar nuevos datos a la base de datos geográfica (BDG), incluyendo capas shapefile y tablas asociadas.
6. El sistema debe permitir acceder a guías de prevención y fuentes externas oficiales, relacionadas con la nutrición y la salud pública.

8.3.3. Actividad 3. Desarrollo del sistema

Con base en la estructura definida en los modelos previos, se procedió con la fase de desarrollo del geoportal, cuyo propósito es el monitoreo continuo de la evolución espacio-temporal de los casos de desnutrición aguda en la zona de estudio. Esta fase también incluyó la integración de un módulo de visualización que permite la exploración de variables correlacionales y la representación de patrones espaciales.

El desarrollo del sistema se estructuró en cinco fases metodológicas: definición del sistema, levantamiento de requerimientos, revisión del modelo de datos, diseño e implementación. Cada una de estas fases permitió consolidar la estructura y funcionalidad del portal web, garantizando la correcta visualización y análisis de los datos.

A continuación, se detallan los aspectos clave del diseño e implementación del geoportal.

Definición del sistema.

El geoportal desarrollado es un sitio web que integra múltiples componentes. Un geovisor, tableros de control interactivo con datos estadísticos, un módulo de visualización para el análisis espacio-temporal de casos y cartografía relacionada con los casos de desnutrición aguda en menores de 5 años reportados por la red de salud de oriente en los años 2022 y 2023 en Santiago de Cali. Adicionalmente, cuenta con un glosarios, guías e información complementaria sobre la desnutrición aguda infantil en general.

Este sistema está orientado al seguimiento y monitoreo de los casos reportados por la Red de Salud de Oriente en los años 2022 y 2023. Su diseño permite a los usuarios explorar tendencias, identificar patrones espaciales y analizar correlaciones en la distribución geográfica de la desnutrición aguda. Está dirigido a investigadores, profesionales de la salud, tomadores de decisiones y público en general, facilitando el acceso a información clave para la gestión y prevención de la desnutrición infantil.

Diseño.

Antes de la implementación del geoportal en las plataformas de ArcGIS, se llevó a cabo la fase de diseño estructural y funcional del sitio web. Esta etapa consistió en la definición de la arquitectura de la información, la organización de los módulos, la navegación entre páginas y la línea gráfica que guiaría el desarrollo posterior.

El diseño contempló la creación de una estructura jerárquica clara, con páginas independientes para cada uno de los módulos principales del sistema: inicio (Home), geovisor, tableros de control, análisis cartográfico, glosario, sección “Nosotros” y guías informativas. Para ello, se definieron principios de diseño visual centrados en la experiencia del usuario (UX), como el uso de una paleta de colores asociada a sensaciones de tranquilidad, veracidad y confianza; la selección de tipografías legibles que evitaran la fatiga visual; y la incorporación de gráficos e imágenes reales que complementarían el contenido textual. Además, se integraron widgets y animaciones interactivas en cada módulo, con el fin de ofrecer una navegación dinámica sin perder la sobriedad y profesionalismo requeridos.

El proceso de diseño no contó con la asesoría directa de un profesional en desarrollo web. En su lugar, se realizó una revisión crítica de referencias visuales y estructurales provenientes de plataformas reconocidas, tales como el sitio oficial del ICBF, Our World in Data, el portal del New York Times, y diversos geoportales desarrollados con tecnologías de ESRI. A partir de este análisis comparativo, se recopiló ideas y buenas prácticas que se adaptaron a las necesidades del proyecto. Finalmente, se sostuvo una reunión con un profesional del área de Ingeniería Topográfica, quien brindó recomendaciones clave para la consolidación de la propuesta visual definitiva.

Como parte del proceso creativo, se elaboraron esquemas preliminares (bocetos digitales) que permitieron esbozar la distribución de los contenidos y funcionalidades del sitio. Estos bocetos sirvieron como guía para el desarrollo en herramientas como ArcGIS StoryMaps, Experience Builder y Web AppBuilder, donde se implementaron los módulos funcionales del geoportal.

Implementación.

La implementación del geoportal se llevó a cabo utilizando las herramientas de ArcGIS Online, las cuales permitieron un desarrollo rápido y eficiente sin necesidad de recurrir directamente a lenguajes de programación o arquitecturas complejas de páginas web. La base de datos geográfica (BDG), creada en ArcGIS Pro, sirvió como insumo principal para alimentar los distintos módulos del geoportal. Adicionalmente, se integraron vínculos a sitios web externos

relacionados con el tema, los cuales complementan las secciones de sitios de interés y guías profesionales.

La herramienta Web AppBuilder fue utilizada para construir el geovisor, permitiendo integrar múltiples capas de información, aplicar filtros interactivos, consultar atributos y realizar mediciones espaciales.

Para representar la narrativa del proyecto de forma dinámica y contextualizada, se implementó una presentación en ArcGIS StoryMaps, la cual permitió comunicar los objetivos, justificación y análisis a través de una lectura fluida y visualmente atractiva. Además, se hizo uso de esta aplicación para el desarrollo de un apartado que permitió la comparación multitemporal de la distribución a nivel barrial de los casos de estudio.

Asimismo, la herramienta Experience Builder se empleó como base para estructurar todo el desarrollo del geoportal facilitando la navegación por secciones como el glosario, cartografía descargable, fuentes externas, contacto y análisis de resultados. Estas páginas fueron diseñadas con menús desplegables, botones interactivos y estructuras modulares personalizadas. Las páginas diseñadas en diferentes aplicaciones externas (Story Maps y Web App Builder) se incorporaron a las diferentes secciones correspondientes por medio de vínculos.

Los tableros de control fueron desarrollados mediante la misma aplicación de Experience Builder por su capacidad de diseño y diversidad de opciones, permitiendo visualizar estadísticas clave con filtros dinámicos según variables como tipo de barrio o estrato socioeconómico.

Durante el proceso de implementación se identificaron desafíos relacionados con la validación de fuentes externas, la integración de contenido complementario confiable y la necesidad de adaptar la interfaz para usuarios con distintos niveles de conocimiento técnico. Estos retos fueron abordados mediante pruebas iterativas, ajustes visuales y mejoras en la organización de los contenidos.

Gracias a esta implementación, el geoportal logró consolidarse como una herramienta funcional, de libre acceso, capaz de apoyar el monitoreo y análisis espacio-temporal de los casos de desnutrición aguda infantil en la zona de estudio.

Durante esta fase también se mantuvieron reuniones con un profesional en ingeniería topográfica con conocimiento en el desarrollo de sitios web con las diferentes aplicaciones ofrecidas por ArcGis Online de ESRI, quien aportó diferentes ideas para un desarrollo efectivo del geoportal.

Generación de productos gráficos descargables.

Como parte complementaria de la implementación, se desarrollaron productos gráficos en formato PDF, generados previamente en ArcGIS Pro, con el propósito de facilitar el acceso a información clave incluso en contextos sin conexión a internet. Estas salidas descargables fueron integradas al geoportal como insumos portátiles para consulta, análisis o difusión. A continuación, se describen los procedimientos aplicados.

Inicialmente, el primer análisis consistió en la exploración espacial de las variables cuantitativas asociadas a los pacientes. Para ello, se incorporó al espacio de trabajo la capa de pacientes y se aplicó un filtro que permitió generar dos capas diferenciadas: una correspondiente a los casos de desnutrición aguda severa y otra a los de desnutrición aguda moderada. Posteriormente se procedió a la visualización individual de cada variable cuantitativa mediante filtros por campo. Para cada una de estas variables, se aplicó una simbología adecuada y se clasificaron los valores por cuartiles, siguiendo el criterio conforme a los criterios en los reportes epidemiológicos oficiales, con el fin de mantener la coherencia visual y facilitar la interpretación de los datos.

Para cada variable analizada se desarrollaron visualizaciones estadísticas, incluyendo:

- Gráficos de pastel, para representar proporciones por cuartil.
- Histogramas, para ilustrar la distribución de frecuencias.
- Diagramas de cajas y bigotes, con información sobre valores extremos, media y dispersión.
- Gráficos de dispersión, utilizados para detectar posibles correlaciones entre pares de variables.

Complementariamente, mediante el uso de la herramienta *Resumir Atributos*, se obtuvieron tablas estadísticas que presentan, de manera estructurada un resumen estadístico para cada una de las variables analizadas.

Posteriormente, se llevaron a cabo análisis espaciales de autocorrelación utilizando el índice de Morán global. Este análisis se aplicó sobre las capas de barrios, comunas y corregimientos, utilizando el geoproceso *Autocorrelación espacial (I de Morán Global)*. Para este procedimiento se definieron como parámetros la conceptualización espacial por K vecinos más próximos, la distancia euclidiana como criterio de proximidad y la estandarización por fila.

Adicionalmente, se realizó el análisis de clúster local mediante el cálculo del índice LISA, utilizando el geoproceso *Análisis de clúster y de valor atípico (I de Anselin Local de Morán)*. Este análisis se aplicó exclusivamente a la capa de barrios, por cumplir con la condición de que el número de entidades geográficas fuera mayor a 30 ($n > 30$).

Este procedimiento fue desarrollado directamente por el autor del proyecto, utilizando las herramientas disponibles en ArcGIS Pro sobre las capas construidas a partir de los datos recolectados para esta investigación.

Finalmente, se desarrolló un análisis de proximidad con el fin de estimar la distancia entre los pacientes y los centros de atención médica donde fueron diagnosticados. En primera instancia, se ejecutó un geoproceso de unión espacial para transferir el campo correspondiente al nombre de la IPS desde la capa de centros de atención médica hacia la capa de pacientes, utilizando la llave foránea establecida en el modelo de datos. Posteriormente, se generaron capas independientes para cada grupo de pacientes según la IPS en la que fueron atendidos.

Con esta información estructurada, se realizó una matriz de distancia ($n \times k \times 3$) en el software QGIS, que permitió calcular la distancia euclidiana en metros entre cada paciente y su respectivo centro de atención médica. Una vez obtenida la matriz, se llevó a cabo un análisis estadístico mediante la herramienta de estadística básica para campos, lo que permitió identificar valores promedio, máximos, mínimos y desviaciones estándar. Además, se construyó un gráfico de ojivas en Excel, lo que permitió representar la proporción de pacientes cuya ubicación se encontraba por debajo o por encima de la distancia promedio estimada.

Todos los resultados obtenidos fueron integrados como salidas gráficas, generadas en ArcGis Pro de ESRI, en el geoportal, permitiendo su visualización y descarga, y ofreciendo una representación clara, accesible e interpretativa de la dimensión espacial de la desnutrición aguda.

Pruebas del sistema y evaluación de resultados.

Con el fin de verificar el correcto desempeño del geoportal desarrollado, se diseñó un proceso de validación centrado en tres componentes clave: la carga y visualización de los datos espaciales, la interacción con las herramientas estadísticas (gráficos, filtros y consultas) y la consistencia en la representación de los casos de desnutrición.

Las pruebas se planificaron bajo un enfoque iterativo, lo que permitió identificar y resolver fallas como la lentitud en la carga de capas, desalineación en los estilos cartográficos y errores menores en la navegación del sitio.

Asimismo, se elaboró una guía de usuario con instrucciones paso a paso para facilitar la comprensión de las funcionalidades del sistema por parte de usuarios sin conocimientos técnicos avanzados. Estas pruebas fueron fundamentales para validar que el sistema cumpliera con los objetivos propuestos en términos de accesibilidad, funcionalidad y utilidad para el análisis espacio-temporal de la desnutrición aguda en la zona de estudio.

9. RESULTADOS

En esta sección se presentan los principales hallazgos obtenidos a lo largo del desarrollo del proyecto, los cuales se derivan de los procesos de caracterización de variables, estructuración de la base de datos geográfica, análisis espacial y diseño del geoportal. A partir de los datos procesados y representados cartográficamente, se realiza un análisis detallado que permite comprender la distribución espacial, temporal y socioeconómica de los casos de desnutrición aguda infantil en Santiago de Cali, aportando insumos clave para la toma de decisiones en salud pública.

9.1. Fase 1. Diagnóstico y Análisis Exploratorio del Problema

9.1.1. Filtro y Selección de Variables

En la Tabla 2 se presentan la clasificación de las variables seleccionadas para el análisis correlacional del estudio, las cuales fueron determinadas con base en la disponibilidad de datos reportados en el sistema de vigilancia epidemiológica SIVIGILA y en la relevancia identificada en estudios previos sobre esta problemática. Estas variables han sido clasificadas en tres categorías: datos antropométricos, datos sociodemográficos e indicadores clínicos.

Tabla 2. Clasificación de variables correlacionales

	Categoría	Variable
1	Datos antropométricos	Edad (años)
		Peso al nacer
		Edad gestacional
		Perímetro braquial
		Peso actual
		Talla actual
		Índice de masa corporal (IMC)
		Talla al nacer
2	Datos sociodemográficos	Sexo
		Estrato socioeconómico
		Nombre del barrio
		Tiempo de lactancia
		Nivel educativo del acudiente
3	Indicadores clínicos	Presencia de piel reseca
		Hiperpigmentación
		Palidez
		Edema

(Fuente: elaboración propia)

9.1.2. Análisis Exploratorio de Datos

En la Tabla 3 se presentan los resultados del análisis exploratorio de datos, donde se detalla la cantidad total de registros disponibles para cada variable, así como la proporción de datos completos y datos faltantes. Esta información permite evaluar la calidad y completitud de los datos utilizados en el estudio.

Tabla 3. Cantidad total de registro.

Variable	Total de datos	Datos completos	Datos faltantes
Edad (años)	253	253	0
Sexo	253	253	0
Nombre del barrio	253	253	0
Estrato	253	253	0
Nivel educativo	253	253	0
Peso al nacer	217	181	36
Edad de gestación	253	207	23
Zscore pt	252	521	1
Perímetro braquial	243	233	10
Peso actual	253	253	0
Talla actual	253	253	0
IMC	253	253	0
Talla al nacer	180	107	73
Edema	253	253	0
Piel reseca	253	253	0
Hiperpigmentación	253	253	0
Palidez	253	253	0

(Fuente: Elaboración propia)

En la figura 7 representa visualmente los resultados del análisis exploratorio de datos mostrado en la Tabla 2. En esta visualización, cada fila representa un caso (observación) y cada columna una variable. Las líneas negras indican la ausencia de datos (valores faltantes), mientras que el fondo gris representa la presencia de datos registrados. Esta figura permite identificar visualmente qué variables presentan mayor proporción de datos ausentes y su distribución en el conjunto de observaciones.

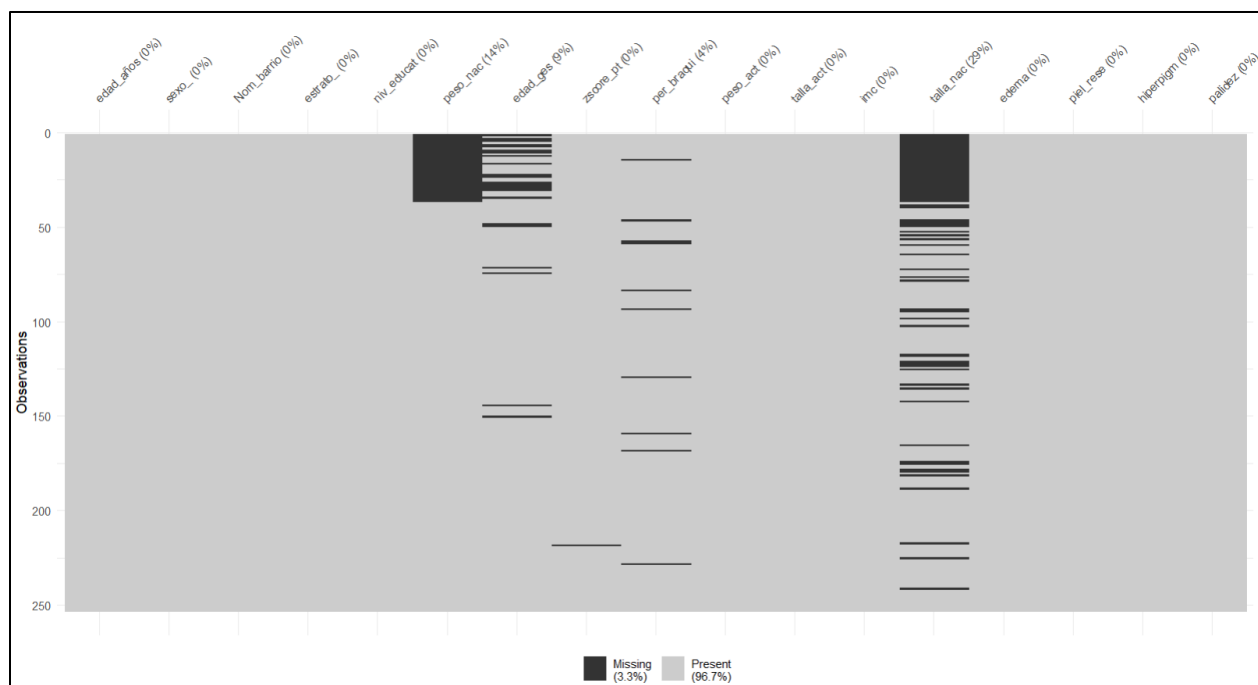


Figura 7. Visualización de los datos existentes y faltantes

Fuente: Elaboración propia

La Figura 8 muestra los resultados obtenidos tras la aplicación de técnicas para la detección de datos atípicos, empleando el método de distancias de Mahalanobis (parte superior) y el algoritmo LOF (Local Outlier Factor) (parte inferior). Esta visualización permite identificar las observaciones que presentan un comportamiento anómalo dentro del conjunto de datos analizado.

En ambos gráficos, los puntos que se encuentran por encima de la línea roja punteada corresponden a observaciones clasificadas como posibles datos atípicos. En el gráfico de Mahalanobis, los puntos elevados representan datos atípicos a nivel global, considerando la distancia multivariada al centroide del conjunto. En contraste, en el gráfico LOF, los valores altos indican anomalías locales, es decir, observaciones con comportamiento inusual en relación con sus vecinos más cercanos.

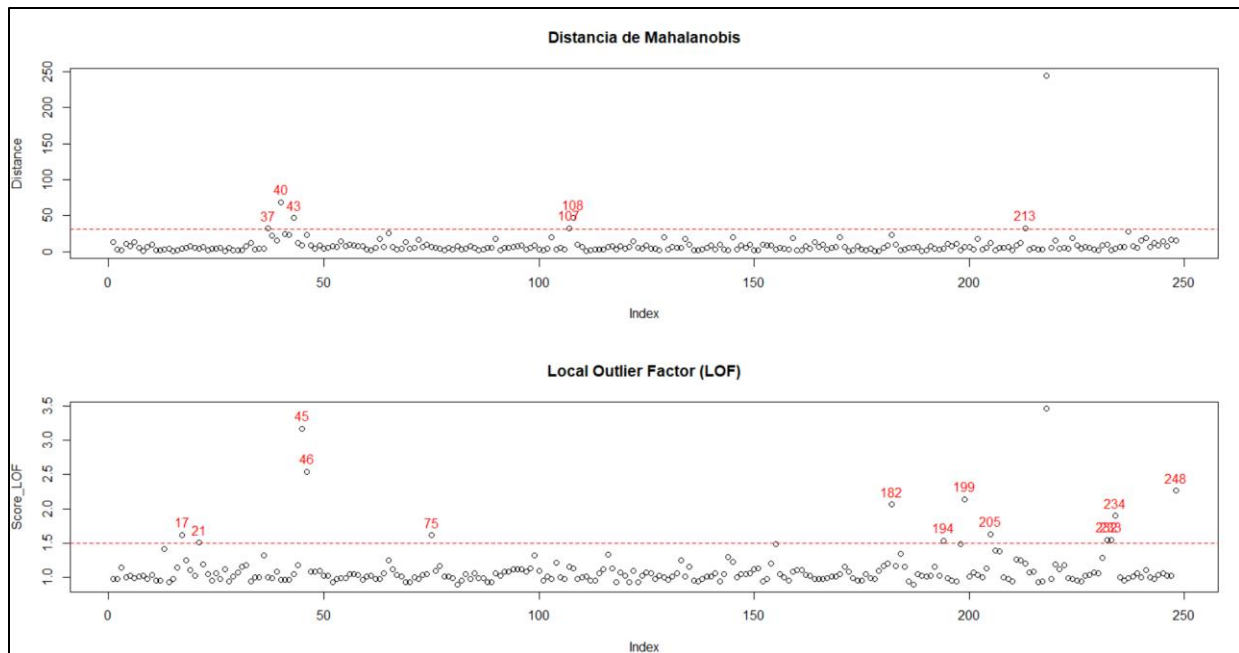


Figura 8. Identificación de datos atípicos por el método de distancias de Mahalanobis y LOF

Fuente: Elaboración propia

La Figura 9 muestra la verificación de la completitud de los datos tras la aplicación del método de interpolación KNN (K-Nearest Neighbors). En esta visualización se confirma la ausencia de valores faltantes, evidenciando la efectividad del procedimiento de imputación para la reconstrucción del conjunto de datos.

En contraste con la Figura 7 —donde los valores ausentes se representaban mediante líneas negras—, este gráfico permite verificar visualmente la efectividad del proceso de imputación, al no presentar ninguna interrupción o marca de ausencia.



Figura 9. Verificación de la completitud de los datos totales

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4 se presentan las variables clasificadas como cuantitativas, mientras que en la Tabla 5 se muestran las variables categorizadas como cualitativas. Esta clasificación fue fundamental para la correcta ejecución del análisis bivariado, permitiendo la selección de la representación gráfica adecuados según el tipo de datos.

Tabla 4. Clasificación de variables cuantitativas

Variables cuantitativas			
Variable	Tipo de variable	Escala de medición	Unidad
Edad	Continua	De razón	Años
Peso al nacer	Continua	De razón	Gramos
Edad gestacional	Continua	De razón	Semanas
Perímetro braquial	Continua	De razón	Cm
Peso actual	Continua	De razón	Kg
Talla actual	Continua	De razón	Cm

Índice de masa corporal (IMC)	Continua derivada	De razón	
Talla al nacer	Continua	De razón	cms
Zcore pt	Continua derivada	De intervalo	

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 5. Clasificación de variables cualitativas

Variables cualitativas		
Variable	Tipo de variable	Escala de medición
Sexo	Binaria	Nominal
Estrato socioeconómico	Ordinal	Ordinal
Nivel educativo	Ordinal	Ordinal
Piel reseca	Binaria	Nominal
Hiperpigmentación	Binaria	Nominal
Palidez	Binaria	Nominal
Edema	Binaria	Nominal

(Fuente: Elaboración propia)

En las siguientes figuras se presentan ejemplos representativos del análisis bivariado aplicado a las variables del estudio. La Figura 10 muestra un diagrama de cajas y bigotes para ilustrar la distribución de una variable cuantitativa (Edad) según una categoría específica (Desnutrición moderada), facilitando la identificación de valores extremos, rangos y tendencias. Por su parte, la Figura 11 presenta un gráfico de barras, empleado para visualizar la frecuencia de una variable cualitativa (estrato socioeconómico) frente a una variable de referencia (Desnutrición aguda y severa).

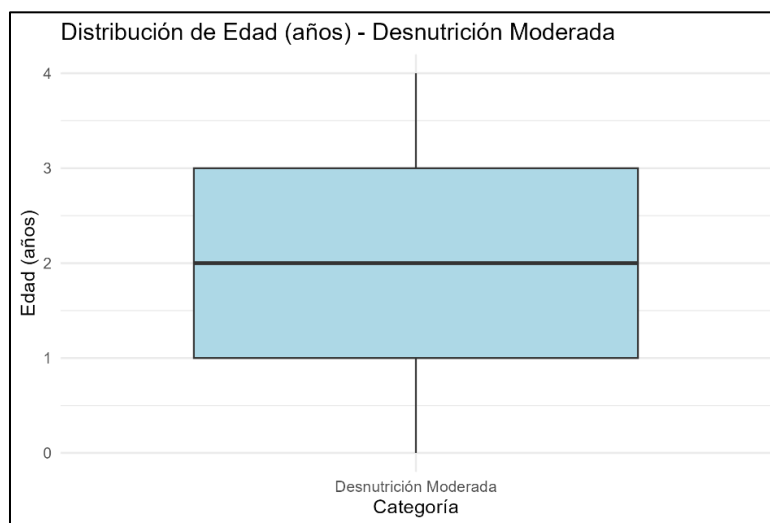


Figura 10. Diagrama de cajas y bigotes. Variable Edad según pacientes con desnutrición moderada

Fuente: Elaboración propia

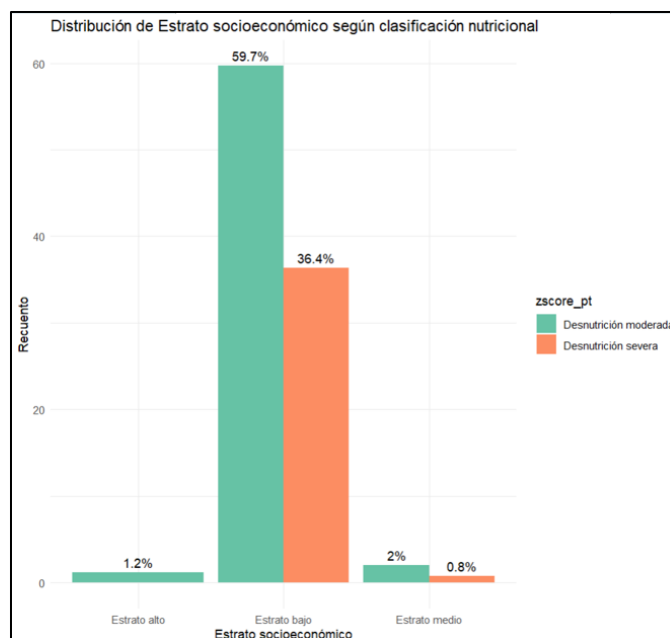


Figura 11. Gráfico de barras del Estrato socioeconómico según desnutrición moderada y severa.

Fuente: Elaboración propia

Estas visualizaciones permiten interpretar de forma clara la relación entre variables y fueron seleccionadas por su relevancia en el análisis exploratorio. Para consultar la totalidad de los gráficos generados, se han dispuesto los siguientes vínculos:

- Diagramas de cajas y bigotes (variables cuantitativas): [vínculo](#)
- Gráficos de barras (variables cualitativas): [vínculo](#)

A continuación, se presenta un análisis general de los resultados obtenidos durante la fase de caracterización de variables y exploración bivariada. Este análisis no se enfoca en cada resultado por separado, sino que busca identificar patrones comunes, relaciones entre variables y hallazgos relevantes observados en el conjunto de visualizaciones generadas. El objetivo es facilitar una visión clara del comportamiento de los datos y aportar observaciones que ayuden a entender mejor la situación estudiada.

El análisis exploratorio permitió examinar la distribución y variabilidad de variables cuantitativas y cualitativas asociadas a los casos de desnutrición aguda en menores de cinco años, diferenciando entre las clasificaciones moderada y severa. A través de diagramas de caja se evidenció que, en general, los niños con desnutrición severa presentaron una menor variabilidad en los valores antropométricos, con distribuciones más homogéneas y centradas en valores inferiores, lo que indica una condición nutricional más crítica y uniforme.

Respecto a la edad, se observó una mayor dispersión en los casos de desnutrición moderada, con medianas similares entre ambos grupos, lo cual sugiere una afectación concentrada en los primeros años de vida. El peso al nacer en los casos de desnutrición aguda severa mostró menor dispersión y valores atípicos hacia los extremos inferiores. Una tendencia similar se observó en la talla al nacer, lo cual podría asociarse a condiciones perinatales adversas, como la

prematuridad, también reflejada en la edad gestacional, donde ambos grupos mostraron medianas cercanas a las 38 semanas, aunque con valores atípicos en el grupo severo.

Las mediciones actuales, como peso, talla, perímetro braquial e índice de masa corporal (IMC), reflejaron diferencias claras. En la desnutrición severa, estos indicadores fueron consistentemente más bajos y menos variables, mientras que en los casos moderados hubo mayor dispersión. Esto sugiere que los niños con desnutrición severa están en condiciones más comprometidas y homogéneas en términos de estado nutricional, mientras que en la desnutrición moderada pueden influir otros factores, como el acceso irregular a alimentos o condiciones sanitarias variables.

Diversos estudios han demostrado que factores como el nivel educativo de la madre, las condiciones sociales y económicas del entorno, y la nutrición materna antes y durante el embarazo influyen directamente en la salud y el estado nutricional del infante durante sus primeros años de vida. De acuerdo con el Estudio Colaborativo de la Organización Mundial de la Salud, el bajo peso al nacer ha sido identificado como uno de los principales factores predictores de desnutrición infantil, acompañado por otras variables relevantes como el índice de masa corporal (IMC) y el perímetro braquial superior de la madre [48]. Asimismo, se ha evidenciado que una mujer con bajo peso al nacer tiende a presentar una talla inferior durante su crecimiento, lo cual puede repercutir negativamente en el desarrollo fetal, especialmente en casos de embarazo precoz. En este sentido, se ha comprobado que una dieta balanceada durante la gestación, complementada con suplementos proteico-energéticos, puede disminuir significativamente las consecuencias adversas para el recién nacido. Además, se reconocen otros factores no nutricionales, como el tabaquismo, las infecciones, la calidad del aire y la pobreza, como determinantes del estado nutricional neonatal, lo que refuerza la importancia de un abordaje integral de la salud materno-infantil [48].

En cuanto a las variables cualitativas, se identificó que la mayoría de los casos pertenecían al sexo masculino, lo cual podría implicar una mayor exposición a factores de riesgo en este grupo. Adicionalmente, se evidenció un patrón socioeconómico asociado a la desnutrición, con prevalencia en el estrato socioeconómico bajo, lo que confirma la estrecha relación entre pobreza y desnutrición. El nivel educativo de los tutores mostró un patrón que sugiere que la educación podría actuar como un factor protector frente a la desnutrición.

En términos de signos físicos, condiciones como piel reseca, hiperpigmentación, palidez y edema se presentaron en proporciones distintas. Aunque no fueron determinantes absolutos, se observó una mayor prevalencia de edema en los casos severos, mientras que síntomas como la piel reseca y la palidez estuvieron presentes tanto en moderados como en severos, sin marcar una diferencia contundente.

En conjunto, los resultados permiten concluir que la desnutrición aguda severa está asociada a valores antropométricos más bajos y homogéneos, condiciones perinatales adversas, baja escolaridad de los cuidadores y pertenencia a contextos socioeconómicos vulnerables. Estos hallazgos resaltan la necesidad de estrategias integrales de intervención que consideren tanto factores biológicos como sociales para prevenir y tratar la desnutrición infantil.

En concordancia con estos resultados, el Protocolo de Vigilancia en Salud Pública para la desnutrición aguda infantil del Instituto Nacional de Salud [20] establece que la clasificación de los casos se basa en los indicadores peso/talla y perímetro braquial, considerando como

desnutrición aguda moderada los valores entre -2 y -3 desviaciones estándar, y como severa los menores a -3 desviaciones estándar o la presencia de edema bilateral.

De igual forma, se reconoce que un perímetro braquial inferior a 11,5 cm constituye un predictor directo de riesgo de mortalidad en niños de 6 a 59 meses, lo que refuerza la importancia de este indicador en el análisis realizado. Asimismo, el edema identificado en los casos severos corresponde a uno de los principales criterios clínicos del fenotipo kwashiorkor, mientras que otras manifestaciones como palidez o piel reseca son consistentes con la clasificación clínica establecida a nivel nacional [20].

Finalmente, es relevante señalar que, de acuerdo con los reportes de 2023, en Colombia se notificaron 24.226 casos de desnutrición aguda en menores de cinco años, la cifra más alta registrada hasta la fecha [20], lo que confirma la magnitud del problema y otorga mayor pertinencia a los resultados obtenidos en este estudio, los cuales se alinean con las directrices oficiales y evidencian la necesidad de un abordaje integral para enfrentar esta problemática.

9.2. Fase 2. Diseño e Implementación de la Base de Datos Geográfica

9.2.1. Modelo de datos

La siguiente figura presenta el modelo conceptual desarrollado durante la etapa de diseño de la base de datos. Este modelo define las entidades, atributos y relaciones clave que estructuran la información del estudio, sirviendo como base para la organización y el manejo eficiente de los datos. En el diagrama, los rectángulos azules representan las entidades, los óvalos amarillos corresponden a sus respectivos atributos, y los rombos verdes indican las relaciones entre entidades. Las líneas en negrita, por su parte, representan las cardinalidades establecidas en cada relación.

Posteriormente, se presenta un esquema escrito de la organización del mismo modelo.

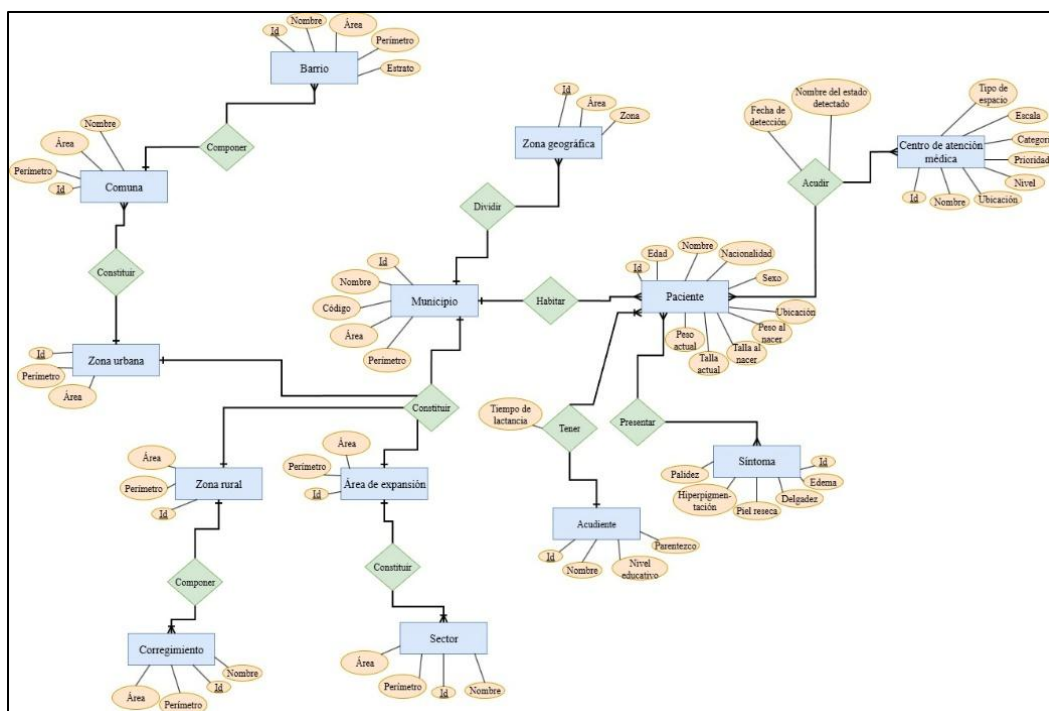


Figura 12. Modelo conceptual de la base de datos

Fuente: Elaboración propia

El Esquema 1 presenta la representación escrita del modelo conceptual ilustrado en la Figura 7. En este esquema se detallan las entidades y sus atributos definidos en el modelo, proporcionando una visión estructurada y descriptiva de la organización de los datos.

Esquema 1. Modelo conceptual en forma escrita

Paciente: Id, Nombre, Edad, Nacionalidad, Sexo, Latitud, Longitud, Peso actual, Talla actual, Peso al nacer, Talla al nacer.

Acudir: Fecha de detección, Nombre del estado detectado.

Centro de Atención Médica: Id, Nombre, Ubicación, Nivel, Prioridad, Categoría, Tipo de espacio, Escala.

Síntoma: Id, Edema, Piel reseca, Hiperpigmentación, Palidez.

Acudiente: Id, Nombre, Nivel educativo, Parentesco.

Zona Urbana: Id, Perímetro.

Zona Rural: Id, Área, Perímetro.

Área de Expansión: Id, Área, Perímetro.

Municipio: Id, Código, Área, Perímetro.

Barrio: Id, Nombre, Perímetro, Estrato.

Comuna: Id, Nombre, Perímetro, Área.

Corregimiento: Id, Nombre, Perímetro, Área.

Sector: Id, Nombre, Perímetro, Área.

Zona geográfica: Id zona, zona, área.

La Figura 13 presenta el modelo lógico de datos, desarrollado como la segunda etapa en la construcción del modelo de datos. Este modelo fue generado a partir del modelo conceptual representado en la Figura 12 y establece la estructura detallada de las tablas, atributos y relaciones, adaptándolas a un esquema formal adecuado para su implementación en un sistema de gestión de bases de datos.

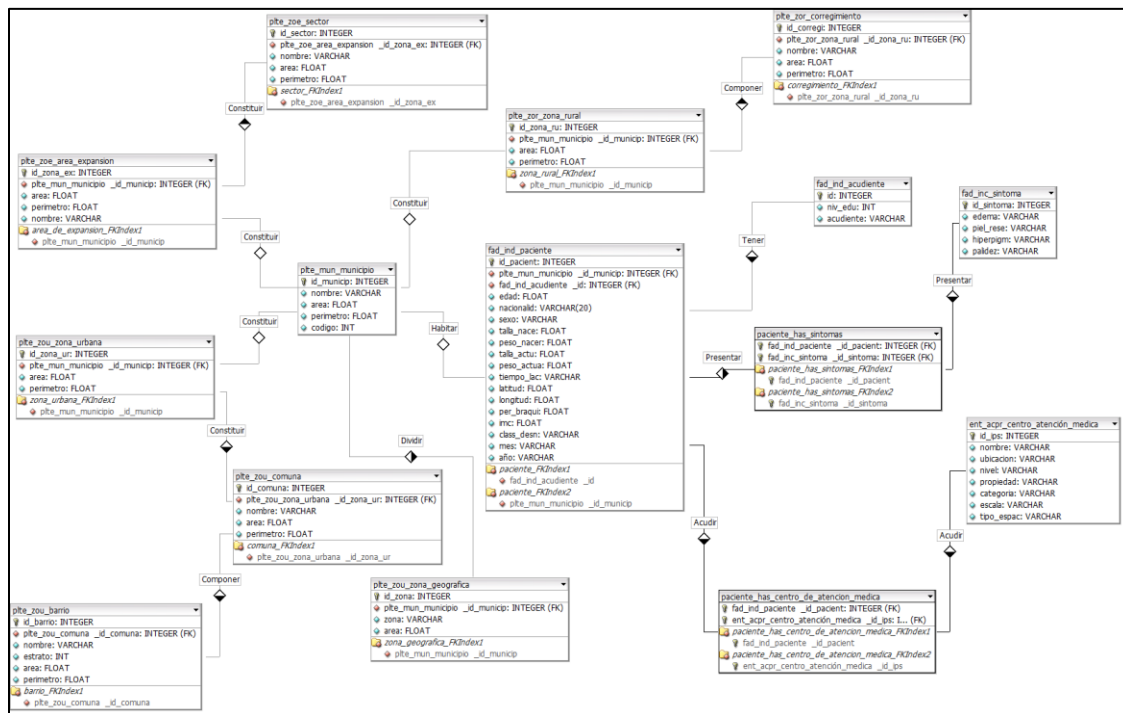


Figura 13. Modelo lógico de la base de datos

Fuente: Elaboración propia

La figura 14 presenta el modelo físico de la Base de Datos Geográfica (BDG) desarrollada para este proyecto como esquema final. En ella se representan las entidades espaciales y no espaciales, su organización temática y las relaciones establecidas entre componentes clave del sistema, tales como los factores directos, la planificación territorial, las entidades de acompañamiento profesional y los individuos involucrados. Asimismo, se especifica la tipología de los objetos geográficos empleados (punto, línea o polígono), facilitando la comprensión de la estructura final de la base de datos implementada en el entorno SIG.

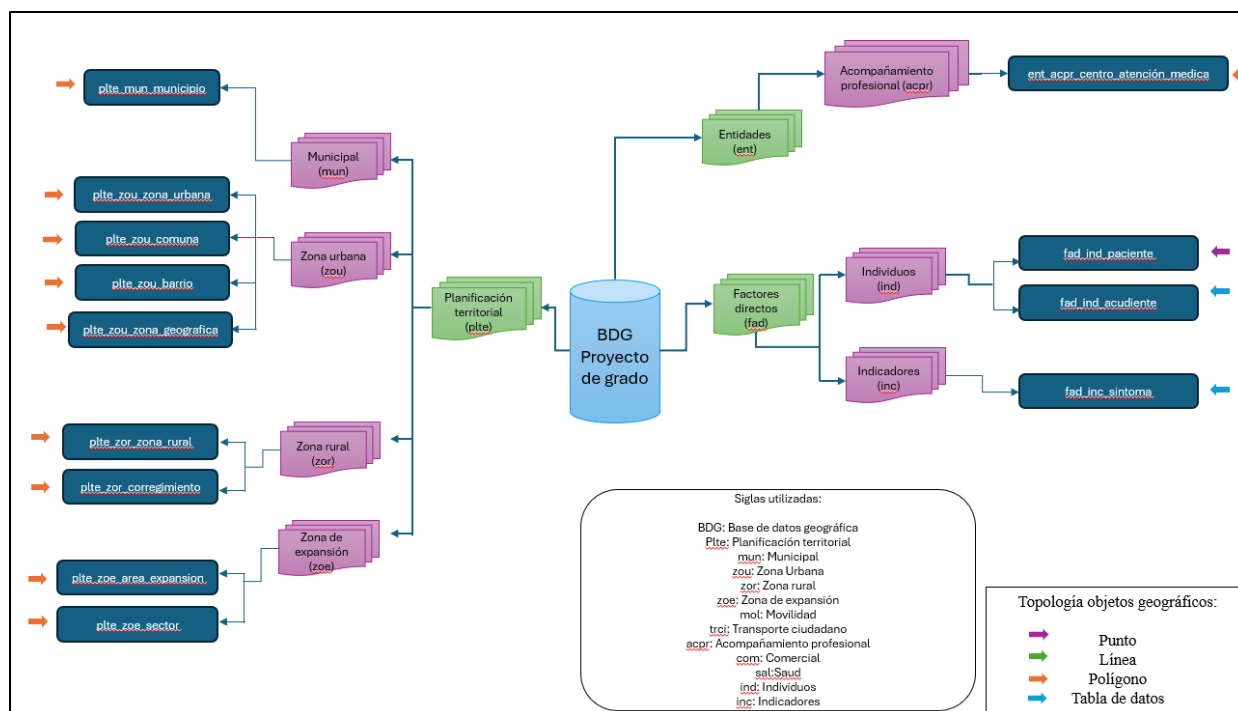


Figura 14. Modelo físico de la base de datos

Fuente: Elaboración propia

Tras la elaboración de los productos correspondientes a esta fase, se reconoce que la construcción de una Base de Datos Geográfica (BDG) representó un avance significativo para la organización y estructuración de la información relevante sobre la desnutrición aguda infantil en Cali. Al integrar los registros provenientes del SIVIGILA y datos espaciales del geoportal IDESC, se logró consolidar una fuente de información robusta, coherente y adecuada para el análisis espacial.

La incorporación de variables clínicas, antropométricas, sociodemográficas y geográficas dentro de un mismo esquema relacional permitió establecer vínculos entre los atributos de salud y su contexto territorial. Esta estructura facilitó no solo la consulta individual de los casos, sino también su análisis colectivo a través de diferentes escalas de agregación espacial (barrios, comunas, zonas).

Los modelos conceptual y lógico desarrollados cumplieron una función clave al permitir visualizar las entidades y relaciones necesarias para representar adecuadamente el fenómeno estudiado. Su correcta implementación favoreció la normalización de los datos, evitando redundancias y asegurando su consistencia.

Finalmente, la integración de la BDG en ArcGIS Pro y su vinculación con ArcGIS Online no solo consolidó una infraestructura tecnológica adecuada, sino que demostró ser funcional para el posterior despliegue de visualizaciones y herramientas en el geoportal. Esta articulación entre entorno local y web potenció el alcance del sistema, al permitir que la información fuera consultada de forma remota por diferentes actores interesados.

9.3. Fase 3 y 4 Desarrollo e Integración del Geoportal web / Análisis Espacial y visualización de Resultados

Como resultado del proceso de desarrollo, se presenta un geoportal implementado en ArcGIS Online de ESRI con el propósito de visualizar y analizar espacialmente los casos de desnutrición aguda en menores de cinco años en Santiago de Cali. Este sitio web permitió integrar información geoespacial relevante, facilitando la identificación de patrones espaciales fortaleciendo así la toma de decisiones basadas en evidencia.

El geoportal cuenta con distintas herramientas interactivas que permiten la exploración de datos espaciales, la generación de mapas temáticos y el análisis de correlaciones entre variables asociadas a la desnutrición aguda infantil detectados en los años 2022 y 2023 por la red de salud de oriente de Cali. Su diseño está orientado a brindar una interfaz intuitiva y accesible para investigadores, profesionales de la salud y tomadores de decisiones.

A continuación, se presenta la página de inicio del geoportal, la cual introduce visualmente al usuario en la plataforma. En ella se destacan tanto el título del proyecto como la imagen central que alude a la problemática abordada, así como los accesos directos a cada uno de los módulos disponibles. Además, se ha elaborado un video complementario, al que se puede acceder por este [vínculo](#), que explica de manera general la funcionalidad del geoportal y demuestra su operatividad.



Figura 15. Página de inicio del geoportal “Entre Calles y Sueños: La Desnutrición Infantil Aguda en el Mapa de Santiago de Cali”.

Fuente: Elaboración propia

Para una experiencia completa, se proporciona también el [enlace](#) de acceso al sitio web, donde los usuarios pueden interactuar directamente con las herramientas implementadas.

A continuación, se describen brevemente las funcionalidades más relevantes de cada una de sus secciones. Esta revisión busca resaltar el aporte de cada módulo al análisis espacial, la exploración de datos y la comprensión integral del fenómeno de la desnutrición aguda infantil en Santiago de Cali.

Página de inicio (Home)

La **página de inicio** del geoportal constituye el punto de entrada para los usuarios, ofreciendo una visión general de la plataforma y de sus componentes más relevantes. Se destacan el geovisor y los tableros de control, herramientas clave para la exploración y análisis espacial de los casos de desnutrición aguda infantil.

Además, esta sección introduce los fundamentos del geoportal, incluyendo su objetivo general, misión y visión, lo que permite contextualizar su finalidad en el marco del seguimiento y control de esta problemática. En su parte inferior, se incorporaron enlaces a fuentes institucionales y oficiales, que amplían la comprensión del fenómeno abordado y refuerzan la credibilidad de los datos utilizados.

Página del geovisor

El **Geovisor** representa una de las funcionalidades centrales del geoportal, permitiendo visualizar y analizar la distribución espacial de los casos de desnutrición aguda infantil reportados durante los años 2022 y 2023. Esta herramienta interactiva integra múltiples capas de información, como los casos registrados, variables correlacionales asociadas y los límites administrativos de barrios y comunas.

Gracias a sus funcionalidades de consulta, filtrado y análisis espacial, el geovisor facilita la identificación de zonas críticas y patrones geográficos relevantes. Su implementación permitió ampliar la comprensión territorial del fenómeno, aportando una base visual sólida para el análisis posterior y la toma de decisiones informadas.

Página de tableros de control

Esta sección del geoportal consolidó más de 25 tableros interactivos que integran análisis estadísticos y geoespaciales sobre los casos de desnutrición aguda en Cali. A través de visualizaciones dinámicas y filtros personalizables, fue posible explorar la distribución de casos según barrios, comunas y corregimientos, así como examinar la evolución mensual de los reportes durante el periodo de estudio.

Entre los resultados destacados se encuentran los mapas de densidad, los gráficos de distribución según barrios, comunas y corregimientos, y los análisis de autocorrelación espacial mediante los índices de Moran global y local (LISA). Estos productos facilitaron una interpretación clara de los focos de concentración y la dinámica territorial del fenómeno, posicionando esta sección como una herramienta clave para el análisis integral de la problemática.

Página de Historia

La página de **Historia** reunió los fundamentos conceptuales y contextuales que respaldan el desarrollo del proyecto. Se expuso de manera estructurada el problema de la desnutrición aguda infantil, su relevancia en el contexto de Santiago de Cali y los elementos centrales del estudio, como los objetivos, la justificación, la pregunta de investigación y la hipótesis.

Al integrar esta información directamente en el geoportal, se logró dotar a la plataforma de un componente explicativo que permite al usuario comprender el propósito del análisis geoespacial y su aplicación en una problemática crítica de salud pública. Esta estrategia contribuyó a fortalecer la lectura contextual de los resultados presentados en las demás secciones.

Página de Prevención y nutrición

La página de **Prevención y Nutrición** integró recursos oficiales y herramientas educativas con enfoque preventivo frente a la desnutrición aguda infantil. A través de enlaces a guías, materiales visuales y recomendaciones dirigidas a madres, cuidadores y profesionales, se promovieron prácticas saludables de alimentación y detección temprana.

La inclusión de esta página permitió extender el alcance del geoportal más allá del análisis geoespacial, incorporando un componente formativo y de orientación comunitaria. Este resultado aportó valor social al proyecto, fortaleciendo su función como herramienta de apoyo para la intervención temprana y la promoción de la salud infantil.

Página de Glosario

Dado que el geoportal está dirigido a un público amplio, se ha diseñado una página de **Glosario** para mejorar la comprensión de los contenidos del geoportal, especialmente entre usuarios sin formación técnica en salud pública o sistemas de información geográfica. Se recopilaron y definieron términos clave relacionados con la desnutrición aguda y la cartografía digital.

Como resultado, el glosario facilitó una lectura accesible y autónoma del sitio, favoreciendo la apropiación del conocimiento por parte de un público diverso. Esta funcionalidad fortaleció el carácter inclusivo y divulgativo del geoportal, alineándose con su propósito educativo y social.

Página de Nosotros

La página de **Nosotros** tiene como propósito presentar al responsable del desarrollo y ejecución del proyecto. En esta sección, se expone la información sobre el estudiante encargado de la creación del geoportal, destacando su formación académica, el contexto en el que se llevó a cabo el estudio y su rol en el desarrollo de la plataforma.

Análisis cartográfico

Esta sección concentra los principales hallazgos geoespaciales del estudio mediante una colección de mapas en formato PDF generados en ArcGIS Pro de ESRI. Los usuarios pueden explorar de manera dinámica la distribución espacial de los casos de desnutrición aguda, el comportamiento multitemporal por barrios, comunas y corregimientos, así como la localización de variables correlacionales asociadas a cada paciente.

Entre los resultados más relevantes se incluyen mapas de densidad, análisis de proximidad entre pacientes e IPS, y la identificación de clusters espaciales significativos a través de los índices de Moran global y local (LISA). Esta herramienta permitió sintetizar visualmente el fenómeno en estudio, favoreciendo su interpretación desde una perspectiva territorial y fortaleciendo la toma de decisiones basadas en evidencia geográfica. La totalidad de los mapas puede consultarse a través del siguiente [vínculo](#).

Tras la exposición de los principales hallazgos obtenidos mediante las herramientas de análisis espacial y los recursos implementados en el geoportal, a continuación, se presenta un análisis interpretativo que profundiza en la lectura crítica de los resultados. Este análisis busca

destacar patrones relevantes y su implicación dentro del contexto territorial de la desnutrición aguda infantil en Santiago de Cali, aportando elementos clave para su comprensión

La visualización, análisis y publicación de la información constituyen una de las etapas más relevantes dentro del proceso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), ya que permiten comunicar hallazgos complejos de manera clara, comprensible y accesible para la toma de decisiones. En este proyecto, se emplearon diversas herramientas de análisis espacial disponibles en ArcGIS Pro (versión 3.2.2) y ArcGIS Online para generar, interpretar y publicar los resultados obtenidos.

Una de las técnicas aplicadas fue la generación de salidas cartográficas desde ArcGIS Pro, herramienta con la cual fue posible representar de forma precisa la distribución de los casos en el territorio. A través del análisis espacial a nivel barrial, se identificó que, del total de barrios de la ciudad, únicamente el 22.85 % presentó reportes de desnutrición aguda infantil registrados por la red de salud del oriente durante el periodo de estudio. Entre los barrios con mayor número de casos reportados se encuentran: Alfonso Bonilla Aragón (15 casos), El Caney (9 casos), San Pedro, 20 de Julio, El Poblado II y Potrero Grande (8 casos cada uno), Decepaz Invicali (6 casos), y José Manuel Marroquín II, Alirio Mora Beltrán y Aguablanca (6 casos cada uno).

Al analizar los datos filtrados por tipo de desnutrición, se observó que los cinco barrios con mayor número de casos de desnutrición aguda infantil moderada fueron: Alfonso Bonilla Aragón (10 casos), 20 de Julio (7 casos), El Poblado II (7 casos), El Caney (6 casos) y Decepaz Invicali (5 casos). Por su parte, los barrios con mayor número de reportes de desnutrición aguda severa fueron: Alfonso Bonilla Aragón y Potrero Grande (5 casos cada uno), Manuela Beltrán (4 casos), Urbanización Boyacá y Píamos II (3 casos cada uno).

En cuanto al análisis por comunas, de las 21 comunas que conforman la ciudad, 18 reportaron casos de desnutrición aguda infantil durante el periodo de estudio, lo que representa una cobertura del 86 %. Las cinco comunas más afectadas fueron: comuna 14 (53 casos), comuna 21 (37 casos), comuna 13 (36 casos), comuna 11 (21 casos) y comuna 15 (21 casos). Cabe resaltar que, según el mapa guía no oficial publicado por la IDESC, cuatro de las cinco comunas más afectadas se localizan en la zona oriental de Cali, mientras que la comuna 11 se encuentra en el sector centro-oriente.

Complementando este análisis, los resultados del Índice de Moran global arrojaron un valor $Z = 10.88$ con un nivel de significancia de $p < 0.001$, lo cual indica una autocorrelación espacial positiva altamente significativa. Esto confirma que los casos tienden a agruparse espacialmente en ciertas zonas del territorio, particularmente en el oriente de la ciudad, presentando patrones de concentración tipo ALTA-ALTA y algunos valores atípicos clasificados como BAJO-ALTO, especialmente a nivel barrial.

En este mismo orden de ideas, al analizar los casos por estrato socioeconómico, se observó que el estrato 2 concentró el 35 % del total de casos reportados, lo cual refuerza la asociación entre condiciones socioeconómicas y prevalencia de la desnutrición aguda. Este patrón de concentración espacial coincide con las características demográficas y sociales históricas del oriente de Cali. En 1998, esta zona albergaba aproximadamente el 42.7 % de la población total de la ciudad. En ese entonces, el 58.7 % de sus habitantes pertenecía al estrato bajo-bajo y el 41.3 % al estrato medio-bajo [49]. A su vez, el sector centro-oriente —conformado por las comunas 11, 12 y parte de la comuna 9— concentraba una alta proporción de población afrocolombiana, caracterizándose

también por niveles socioeconómicos medio-bajo y medio-medio, representando el 10.4 % de la población caleña [50]. El poblamiento del oriente de Cali ha estado históricamente conformado por barrios populares de clases bajas y medias-bajas, con una marcada presencia de migrantes rurales provenientes de la Costa Pacífica (especialmente de Buenaventura y Chocó), así como de sus descendientes nacidos en la ciudad. Esta dinámica de poblamiento ha generado una alta concentración de población en condiciones de vulnerabilidad [51], lo que se refleja en los resultados obtenidos.

Asimismo, se identificaron tres corregimientos con presencia de casos reportados: La Castilla, La Buitrera y Navarro, cada uno con un caso durante el periodo de estudio. Desde un enfoque temporal, el análisis multitemporal permitió identificar variaciones significativas en la dinámica espacial de los casos detectados entre los años 2022 y 2023. Estos cambios no solo se evidencian en el número de pacientes registrados mensualmente, sino también en la distribución territorial de los barrios afectados.

Durante el primer semestre del año, enero de 2022 presentó 5 casos concentrados en tan solo 4 barrios, mientras que en el mismo mes de 2023 se registraron únicamente 5 casos distribuidos en 5 barrios diferentes, lo que indica una mayor dispersión territorial a pesar de una menor cantidad de casos. En febrero de 2022 se notificaron 14 casos en 11 barrios, mientras que en febrero de 2023 se reportaron 7 casos, uno por cada barrio. No obstante, a partir del mes de marzo de 2023 se evidenció un cambio en este patrón. Mientras que en marzo de 2022 se registraron 12 casos en 8 barrios, para el mismo mes en 2023 se contabilizaron más de 13 casos distribuidos en más de una decena de barrios. Esta tendencia creciente se mantuvo en los meses siguientes. En abril de 2022 se reportaron solo 5 casos en 5 barrios diferentes, mientras que en abril de 2023 se registraron más de 13 casos en al menos 10 barrios. En mayo del primer año se documentaron 9 casos en 7 barrios, frente a más de 14 casos distribuidos en distintas zonas urbanas en 2023. Finalmente, en junio de 2022 se registraron apenas 4 casos en 4 barrios, en contraste con los 13 casos reportados en 9 barrios durante junio de 2023. Este comportamiento evidencia que, si bien enero y febrero de 2022 presentaron una mayor concentración de casos en comparación con el mismo periodo de 2023, a partir de marzo se observó un aumento progresivo en los reportes del año 2023, tanto en número de casos como en la cantidad de barrios involucrados.

Durante el segundo semestre, se mantuvo esta tendencia general, aunque con algunas variaciones. En julio, ambos años presentaron cifras similares, con 9 casos en 8 barrios en 2022 y 8 casos en 7 barrios en 2023. Sin embargo, en agosto de 2022 se registraron únicamente 5 casos, mientras que en el mismo mes de 2023 se documentó un incremento significativo con 11 casos en 7 barrios. Septiembre también reflejó este patrón de aumento: en 2022 se reportaron 8 casos en 7 barrios y en 2023 se superaron los 12 casos, distribuidos en más de 10 barrios. Octubre mostró una distribución casi equitativa, con 7 casos en 6 barrios en 2022 y 7 casos en 7 barrios en 2023. Finalmente, en noviembre se observó una notable diferencia: mientras que en 2022 se reportaron 5 casos en 5 barrios, en 2023 se registraron más de 12 casos distribuidos en más de 10 barrios. En conjunto, este análisis multitemporal revela una tendencia al aumento de los casos reportados durante el año 2023, especialmente a partir del mes de marzo, acompañada de una mayor dispersión geográfica. Estos hallazgos sugieren una expansión territorial del fenómeno, que podría estar asociada a factores estructurales y sociales que afectan la salud infantil en distintas zonas de la ciudad.

Es importante considerar que este incremento en los reportes de casos podría estar vinculado a múltiples factores sociales, económicos o situaciones externas al núcleo familiar. Por ejemplo, en 2023 la Defensoría del Pueblo reportó un incremento de 619 eventos relacionados con conflictos sociales en comparación con el año anterior, afectando a 446 municipios de 31 departamentos. Bogotá concentró el 13 % de estos eventos. Las formas de protesta empleadas por las comunidades para manifestar su inconformidad también aumentaron: las ocupaciones o tomas de instalaciones crecieron un 94 %, los paros o ceses de actividades un 62 %, los bloqueos de vías un 62 % y los plantones o concentraciones un 31 %. Ante este panorama, la Defensoría del Pueblo hizo un llamado al Gobierno Nacional para fortalecer los mecanismos de diálogo con las comunidades afectadas, con el fin de garantizar respuestas oportunas y efectivas a sus demandas. Estos factores de contexto podrían incidir en el acceso a servicios de salud, la seguridad alimentaria y la exposición a situaciones de riesgo para la infancia, lo que resulta pertinente considerar en el marco de la interpretación de los resultados obtenidos.

Complementariamente, se realizó un análisis de frecuencia acumulada mediante curvas de ojiva para evaluar la dispersión espacial de los pacientes en relación con las IPS donde fueron detectados. Esta representación permitió observar patrones diferenciados según la institución prestadora. Por ejemplo, IPS como Potrero Grande, Ricardo Balcázar y El Diamante presentan una alta concentración de pacientes en distancias inferiores a 2.000 metros, lo que sugiere una cobertura localizada y eficiente del entorno inmediato. En contraste, instituciones como Manuela Beltrán, Decepaz y Carlos Holmes Trujillo registran curvas más extensas, reflejando que atienden pacientes provenientes de zonas más alejadas. En ciertos casos, como El Vergel o Ulpiano Lloreda, la dispersión fue mínima o se registraron muy pocos datos, lo que también aporta información sobre el alcance y uso de estas entidades. Este análisis permitió identificar diferencias en la accesibilidad y en la territorialidad de la atención, aspectos clave para interpretar el papel de las IPS en la red de vigilancia de la desnutrición aguda.

Con el objetivo de facilitar la visualización e interpretación de los resultados obtenidos, se desarrolló un geoportal interactivo, el cual permite al usuario explorar la información desde una perspectiva geoespacial dinámica. Más allá de las representaciones cartográficas generadas en ArcGIS Pro, este sitio web ofrece una experiencia inmersiva, intuitiva y enriquecida, orientada a la comprensión integral de la problemática abordada. A través del geovisor, el usuario puede consultar toda la información vinculada al estudio, realizar análisis personalizados, visualizar datos con distintos enfoques y descubrir patrones propios a partir de sus consultas. Adicionalmente, el apartado de tableros de control permite filtrar, buscar y seleccionar información específica según los intereses particulares del usuario, facilitando así una exploración más precisa y detallada.

Dado que esta problemática involucra múltiples dimensiones, se han incorporado al geoportal diversos recursos complementarios, tales como enlaces a sitios relacionados, documentos guía e información externa relevante. Esta integración busca ofrecer una red de conocimiento que enriquezca la interpretación de los resultados publicados. Lo más significativo es que el geoportal fue concebido como una herramienta de acceso abierto, pensada para ser utilizada por personas de distintas áreas del conocimiento, entre ellas investigadores, docentes, profesionales del sector salud, entidades gubernamentales y tomadores de decisiones. En este sentido, el sitio web no solo actúa como repositorio visual de datos, sino como una plataforma de apoyo a la toma de decisiones informadas, contribuyendo a la construcción de soluciones más eficaces frente a la desnutrición aguda infantil.

En suma, los resultados obtenidos en estas fases no solo permiten identificar patrones espaciales y temporales asociados a la distribución de los casos, sino que también demuestran el potencial de las herramientas SIG y de los geoportales como mecanismos clave para la gestión, análisis y divulgación de información crítica en salud pública. Más allá de los datos y los mapas, cada punto representa una infancia impactada, una familia atravesada por la vulnerabilidad. Esta plataforma busca, entonces, no solo informar, sino también movilizar. A partir de esta base, se abre la posibilidad de profundizar en la discusión sobre las causas subyacentes, las implicaciones sociales y las oportunidades de mejora en la toma de decisiones institucionales orientadas a proteger la vida y la dignidad de los más pequeños.

10. DISCUSIÓN

10.1. Fase 1

En el presente proyecto se trabajó con variables clínicas, antropométricas y sociodemográficas de los pacientes menores de cinco años, a partir de los registros reportados en el sistema SIVIGILA. De manera similar, el estudio desarrollado por [52] empleó variables comparables para analizar a una población amplia de pacientes. En dicho estudio, se identificó que el nivel educativo más frecuente entre los padres correspondía a la educación básica primaria, con una prevalencia del 63.4%. En comparación, en el presente análisis —donde se clasificaron los pacientes según la severidad de la desnutrición— se observó que el 63.7% de los casos con desnutrición aguda moderada pertenecían a personas con nivel educativo básico o medio, mientras que esta proporción disminuyó al 36.3% en los casos de desnutrición severa.

Con respecto a la edad, este proyecto evidenció que los pacientes de 2 años fueron los más afectados por desnutrición aguda moderada, mientras que en los casos de desnutrición aguda severa predominó la edad de 1 año. Estos hallazgos son consistentes con los reportes de [52], donde el 53.7% de los casos correspondían a niños de 2 años, y también con [53], en cuyo estudio la población más afectada fue la comprendida entre 1 y 2 años, con una prevalencia del 44%.

En cuanto al sexo, en el presente estudio se encontró que el 62.5% de los casos de desnutrición aguda moderada correspondían a mujeres, frente al 37.5% con desnutrición severa. En el caso de los hombres, el 63.1% presentaba desnutrición aguda moderada y el 36.9% severa. En contraste, [52] reportó un mayor número de pacientes masculinos (53.7%) frente a un 46.3% de pacientes femeninos, y en [53] se registró también una mayor incidencia en el sexo masculino, con un 56% frente a un 44% en mujeres.

De los 230 casos georreferenciados en el presente estudio, el 98.69% se localizó en el área urbana de Santiago de Cali. Esta tendencia coincide con lo reportado por [53], donde el 100% de los casos se concentraron en la cabecera municipal.

Respecto a las variables relacionadas con el estado nutricional, [52] indicó que el 78% de los casos presentaron un peso al nacer entre 2501 y 2999 gramos. Este hallazgo es consistente con el presente estudio, en el que la mayoría de los pacientes, tanto con desnutrición moderada como severa, tuvieron pesos al nacer entre 2500 y 3000 gramos. En contraste, [53] reportó que la mayoría de los casos presentaban un peso igual o inferior a 2500 gramos.

En relación con la lactancia materna, [52] documentó que el 89% de los casos recibió lactancia entre los 2 y los 9 meses, mientras que en [53], el 39% recibió lactancia por más de 7 meses, el 33% durante menos de un mes, el 22% entre 5 y 7 meses, y el 6% entre 2 y 5 meses. Por su parte, en el presente estudio se observó que el 75% de los casos, tanto moderados como severos, recibieron lactancia por menos de 4 meses, evidenciando una duración más corta en comparación con los otros estudios.

En cuanto a la edad gestacional, [52] reportó que el 60.98% de los casos correspondían a gestaciones entre 39 y 41 semanas. De forma similar, en el presente proyecto se encontró que, en los casos de desnutrición aguda moderada, más del 75% de los pacientes tuvieron edades gestacionales entre 35 y 40 semanas, mientras que, en los casos de desnutrición severa, el 75% se ubicó entre las 37 y 40 semanas.

En lo referente al peso actual, [52] señaló que el 58.5% de los casos presentaban pesos entre 4.9 y 7.5 kilogramos, con tallas entre 67.6 y 99.5 cm. Por su parte, este estudio reportó un rango de peso más amplio, entre 4 y 12 kg, mientras que la talla fue similar, con valores entre 65 y 95 cm.

En relación con el estrato socioeconómico, [53] indicó que el 56% de los casos correspondían al estrato 2, lo cual se asemeja a los hallazgos de este proyecto, donde el 35% de los casos también pertenecían a dicho estrato.

Finalmente, [52] reportó que el 73.17% de los casos correspondían a desnutrición aguda infantil moderada y el 26.83% a severa. Esta distribución fue comparable a la encontrada en este estudio, donde el 63% de los casos correspondían a desnutrición aguda moderada y el 37% a desnutrición severa.

En resumen, los resultados del presente estudio coinciden en varios aspectos con los hallazgos reportados por [52] y [53], especialmente en lo referente a las características clínicas, sociodemográficas y nutricionales de los pacientes. Las diferencias observadas pueden atribuirse a las particularidades territoriales, temporales y metodológicas de cada investigación. Esta comparación resalta la validez de los resultados obtenidos, al tiempo que contextualiza la situación de la desnutrición aguda infantil en Santiago de Cali en relación con otras realidades documentadas en estudios previos.

10.2. Fase 2

En el desarrollo del presente proyecto, la base de datos geográfica fue construida a partir de la integración, limpieza y estructuración de los registros del sistema SIVIGILA, con el objetivo de analizar variables clínicas, antropométricas y sociodemográficas georreferenciadas. La implementación se realizó directamente en un entorno SIG utilizando ArcGIS Pro, donde se definieron campos, dominios y relaciones entre atributos, lo que permitió la posterior visualización y análisis espacial de los casos.

En contraste con esta metodología, el artículo presentado en [54] propuso un enfoque alternativo mediante el uso del sistema UAPE (User Analysis and Project Environment), una plataforma de diseño orientada a objetos destinada a facilitar la construcción de bases de datos geográficas por parte de usuarios sin experiencia en programación. Esta herramienta se basa en el modelo GMOD, el cual permite representar entidades espaciales mediante clases geográficas y convencionales, así como establecer relaciones espaciales de asociación, causalidad y agregación. Además, incluye procesos dinámicos que definen el comportamiento de los datos a lo largo del tiempo. A diferencia del enfoque tradicional adoptado en este proyecto, UAPE incorpora reglas, restricciones y simulaciones desde la etapa de diseño conceptual, lo que favorece la reutilización de esquemas y una representación más alineada con la lógica del usuario final. Aunque dicho modelo no ha sido ampliamente implementado en plataformas comerciales, constituye una alternativa robusta y modular para la gestión de bases de datos geográficas en contextos de planificación territorial complejos [54].

Adicionalmente, algunos estudios han explorado herramientas auxiliares que optimizan la relación entre bases de datos geográficas y programas externos. Un ejemplo destacado es el trabajo que introduce las herramientas Auto Numbering, Get Elevation y Excel2GIS, utilizadas para vincular hojas de cálculo de Excel con repositorios SIG en el contexto del diseño de sistemas de

alcantarillado [55]. Estas herramientas automatizaron la generación de datos de entrada a partir de capas geoespaciales, conectando atributos de elementos como pozos y tuberías con su representación espacial. Esta metodología, más automatizada, contrasta con el enfoque aplicado en el presente proyecto, donde el diseño de la base de datos se realizó manualmente dentro del entorno de ArcGIS Pro. No obstante, ambos enfoques compartieron el propósito de mejorar la interoperabilidad entre datos temáticos y su representación espacial. El uso de Excel como puente entre los datos tabulares y el SIG también ofreció ventajas importantes, como la reducción de errores humanos, la optimización del tiempo y la posibilidad de probar múltiples escenarios de diseño, lo cual puede ser considerado para futuras adaptaciones de la herramienta desarrollada en esta investigación.

Por otro lado, en un estudio orientado al manejo forestal en Costa Rica se documentó la creación de una base de datos geográfica utilizando información proveniente de fuentes oficiales, recolectada desde cinco regiones con cobertura de bosques naturales [56]. De manera similar al presente estudio, se llevó a cabo una fase inicial de recolección, limpieza y estandarización de datos antes de integrarlos en la BDG. Posteriormente, los autores desarrollaron un esquema entidad-relación, seguido de un modelo relacional y un proceso de normalización para garantizar la consistencia y alineación lógica de los datos. Esta secuencia metodológica guarda estrecha relación con la implementada en este proyecto, la cual incluyó el diseño conceptual, lógico, la normalización y finalmente el modelo físico. La principal diferencia radicó en el software utilizado: mientras que el estudio costarricense empleó PostgreSQL junto con la extensión espacial PostGIS 2.0, este proyecto utilizó ArcGIS Pro 3.2.2 como entorno de trabajo para la gestión y mantenimiento de la geodatabase. No obstante, ambos modelos compartieron fundamentos clave en cuanto a la organización, calidad y coherencia de los datos espaciales.

En síntesis, el análisis comparativo de distintos enfoques metodológicos para la construcción de bases de datos geográficas permitió evidenciar que, aunque existen diversas herramientas, arquitecturas y niveles de automatización, todos los estudios revisados comparten el objetivo común de garantizar la integridad, utilidad y accesibilidad de los datos espaciales. El enfoque adoptado en este proyecto se distinguió por su aplicación práctica dentro de un software consolidado en el ámbito geoespacial, así como por su adaptabilidad a los requerimientos específicos del análisis en salud pública, cumpliendo con los estándares técnicos necesarios para sustentar análisis espaciales posteriores.

10.3. Fase 3 y 4

En el desarrollo de la presente investigación, se diseñó un geoportal web mediante ArcGIS Online con el fin de publicar y visualizar de manera interactiva los resultados obtenidos del análisis espacial de la desnutrición aguda infantil en la zona oriental de Santiago de Cali. Este enfoque fue comparable al implementado en otros proyectos, como el descrito en [57], donde se desarrolló una plataforma web para la vigilancia de infecciones asociadas a la atención sanitaria en Estados Unidos. En dicho estudio, la visualización de los datos se realizó utilizando herramientas de código abierto como Leaflet, AnyChart y DHTMLX, integradas en una arquitectura cliente-servidor basada en JavaScript y HTML. La información fue almacenada en formatos JSON y GeoJSON, y se incluyeron funcionalidades como filtros, búsquedas y visualización de mapas temáticos y gráficos estadísticos. A pesar de las diferencias en el software empleado —en el presente proyecto se utilizó una solución licenciada como ArcGIS Online—, ambos sistemas compartieron el

propósito de mejorar la experiencia del usuario, promoviendo una interacción intuitiva con los datos y una visualización clara y estructurada de la información [57].

Continuando con el análisis de herramientas utilizadas para la publicación de resultados, en [58] se presentó GISpublisher, una aplicación orientada a facilitar la creación de geoportales a usuarios con poca experiencia en programación. Al igual que en este proyecto, GISpublisher permitió cargar datos en formato shapefile, representando tanto la geometría como los atributos de las entidades. La principal diferencia se evidenció en la robustez de los lenguajes y capacidades de cada plataforma: mientras que GISpublisher fue desarrollado utilizando JavaScript y Node.js, ArcGIS Online hizo uso de tecnologías más avanzadas como TypeScript para el frontend (mediante la ArcGIS API for JavaScript) y múltiples lenguajes en el backend como Python, Java y .NET, lo que le otorgó mayor flexibilidad y capacidad analítica. Ambas plataformas permitieron la creación de cartografía interactiva con funciones básicas de navegación y exploración, aunque ArcGIS Online destacó por su capacidad de integrar herramientas analíticas avanzadas, múltiples visores temáticos y tableros de control adaptables según el tipo de análisis requerido [58].

Una vez analizados los enfoques técnicos de visualización y publicación, se consideraron estudios centrados en el análisis espacial de fenómenos de salud pública. En [59], se examinó la prevalencia de enfermedades diarreicas en menores de cinco años en la India, mediante un análisis espacial apoyado en herramientas como ArcGIS Pro y GeoDa. Al igual que en el presente estudio, se integraron variables clínicas y contextuales para representar la distribución espacial de los casos y se utilizaron indicadores como el índice de Moran y el índice LISA para identificar agrupamientos significativos de alta incidencia. La principal diferencia radicó en la unidad espacial de análisis: mientras que en [59] la información se agrupó por distritos, en el presente proyecto se trabajó con múltiples niveles de desagregación —barrios, comunas y corregimientos—, lo cual permitió una caracterización más precisa de los patrones locales en el contexto urbano de Cali [59].

De forma complementaria, [62] abordó la identificación de zonas potenciales para la ubicación de nuevos centros de salud en el departamento de Guainía mediante la implementación de un sistema de información geográfica. En este estudio se integraron variables de densidad poblacional, accesibilidad de las comunidades, distribución de la infraestructura existente y factores sociodemográficos y económicos. A partir de la construcción de una base de datos geográfica y la aplicación de un modelo de superposición ponderada, fue posible generar un mapa de calor que permitió identificar las localizaciones más adecuadas para ampliar la cobertura del servicio de salud en áreas urbanas y rurales.

De manera análoga, el presente proyecto ha desarrollado un sistema de información geográfica para analizar la distribución de la desnutrición aguda infantil en la ciudad de Santiago de Cali, con el propósito de producir insumos geospaciales que contribuyan a la comprensión del fenómeno. En ambos casos, los enfoques implementados demuestran cómo los SIG pueden constituirse en herramientas estratégicas para la generación de información valiosa que apoye la toma de decisiones en el campo de la salud, fundamentada en evidencia territorial.

Por su parte, en [60] se abordó la mortalidad perinatal en África Subsahariana mediante un análisis espacial basado en encuestas demográficas y de salud aplicadas entre 2015 y 2023. En este estudio, se utilizó STATA 17 como software de análisis, en contraste con ArcGIS Pro empleado en el presente proyecto. No obstante, ambos trabajos compartieron el uso del índice de Moran y del índice LISA como métricas para identificar patrones de autocorrelación espacial.

Adicionalmente, el estudio de [60] incluyó metodologías avanzadas como la detección de puntos calientes y fríos, análisis de conglomerados de valores atípicos, interpolación por Kriging ordinaria y escaneo espacial, junto con un modelo predictivo para estimar futuras zonas de alta vulnerabilidad. En comparación, el presente proyecto se enfocó en técnicas descriptivas y correlacionales que permitieron establecer la distribución actual de los casos y sus zonas críticas, sin incorporar componentes de predicción [60].

En conjunto, la revisión de estos estudios permitió identificar que, aunque existen diversas herramientas y metodologías para la publicación y análisis de información geoespacial en salud pública, existe un hilo conductor que las une: la necesidad de representar visualmente los datos de manera que sean comprensibles, accesibles y útiles para la toma de decisiones. La elección de software, el nivel de complejidad analítica y la escala espacial dependen tanto de los objetivos del estudio como del contexto territorial y tecnológico en el que se desarrolla. El presente proyecto se alineó con estas buenas prácticas al implementar un sistema visual robusto, accesible, y soportado por análisis espaciales sólidos que aportan evidencia geográfica sobre la desnutrición aguda infantil en Santiago de Cali.

Este proyecto marca una diferencia clara frente a otros estudios previos al integrar, de manera innovadora, los datos del Sistema de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA) con un análisis multiescalar de la desnutrición aguda infantil. A través de un enfoque que combina tanto la dimensión temporal como territorial, se logró obtener una visión más precisa de la distribución de los casos en áreas tan específicas como comunas, barrios y corregimientos de Santiago de Cali. Además, se empleó un geoportal interactivo que permite a los usuarios acceder a los datos de forma intuitiva y dinámica, lo cual facilita el seguimiento continuo del fenómeno. Este geoportal no solo cumple con la función de visualización de datos, sino que también se convierte en una herramienta fundamental para tomadores de decisiones, investigadores y profesionales de la salud, al ofrecer una interfaz accesible que integra diversos tipos de análisis espaciales y temporales. En este sentido, el presente proyecto no solo contribuye al conocimiento geoespacial de la desnutrición infantil, sino que establece una herramienta que puede ser replicada y adaptada a futuras investigaciones en salud pública, promoviendo una mayor integración de la tecnología SIG en la formulación de políticas sanitarias.

11. CONCLUSIONES

La presente investigación ha demostrado el potencial de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramientas transversales y de alto impacto, especialmente en el ámbito de la salud pública. En este caso, la aplicación de los SIG fue crucial para fortalecer el seguimiento y monitoreo de los casos de desnutrición aguda infantil reportados por la Red de Salud del Oriente de Santiago de Cali durante los años 2022 y 2023, permitiendo identificar patrones espaciales y temporalmente dinámicos que no habrían sido visibles mediante métodos convencionales.

El análisis exploratorio de los datos permitió examinar la distribución y variabilidad de variables cuantitativas y cualitativas asociadas a la desnutrición, diferenciando entre los grados moderado y severo. A través de herramientas gráficas como los diagramas de caja, se observó que los niños con desnutrición severa presentaron una menor variabilidad en los valores antropométricos, con distribuciones más homogéneas y centradas en valores bajos, lo que sugiere una condición nutricional más crítica y uniforme en este grupo.

La construcción de una base de datos geográfica robusta resultó ser un componente clave en el proyecto. A diferencia de una base de datos convencional, esta integró variables antropométricas, perinatales y socioeconómicas junto con información geográfica detallada sobre la división político-administrativa del área de estudio. Esta estructura permitió asociar cada caso con su ubicación exacta en el territorio, lo que facilitó la implementación de análisis espaciales avanzados en ArcGIS Pro. Estos análisis, como el cálculo de autocorrelación espacial y la visualización multiescalar, permitieron identificar patrones de concentración geográfica y evidenciar desigualdades territoriales que no habrían sido detectadas con enfoques estadísticos convencionales.

Los resultados del análisis espacial a nivel barrial revelaron que solo el 22,85 % de los barrios de la ciudad reportaron casos de desnutrición aguda infantil. En cuanto a las comunas, 18 de las 21 reportaron casos, lo que representa una cobertura del 86 %. Además, se identificaron casos en tres corregimientos: La Castilla, La Buitrera y Navarro, lo que resalta la distribución desigual de los casos en el territorio.

El Índice de Moran global mostró una autocorrelación espacial positiva altamente significativa ($Z = 10.88$; $p < 0.001$), lo que indica una fuerte concentración de casos en ciertas zonas, especialmente en el oriente de Cali. A su vez, el análisis local (LISA) permitió identificar agrupamientos significativos y algunos valores atípicos, lo que resalta la heterogeneidad territorial de la desnutrición aguda. Además, el estrato socioeconómico 2 concentró el mayor porcentaje de casos reportados (35 %), reforzando la relación entre condiciones socioeconómicas y vulnerabilidad nutricional.

El proyecto también desarrolló un geoportal interactivo que consolida todos estos hallazgos. Esta herramienta permite a tomadores de decisiones, investigadores y la comunidad en general acceder a datos clave de manera dinámica, facilitando la planificación de intervenciones focalizadas. De esta manera, el geoportal no solo proporciona una herramienta visual, sino que se convierte en un aporte práctico para la toma de decisiones basadas en evidencia geoespacial.

En conclusión, el proyecto demuestra que la integración de tecnologías geoespaciales en el campo de la salud pública no solo es viable, sino altamente efectiva para identificar zonas críticas, comprender patrones espaciales y orientar estrategias de atención más eficaces. Este trabajo establece un precedente metodológico para la aplicación de los SIG en la toma de decisiones territoriales en salud, y su replicabilidad en otros contextos representa una oportunidad clave para avanzar hacia sistemas de salud más preventivos, focalizados y sensibles al territorio.

12. RECOMENDACIONES

A partir del desarrollo del presente proyecto, se plantean las siguientes recomendaciones que podrían contribuir a fortalecer futuras investigaciones sobre la desnutrición aguda infantil desde un enfoque geoespacial y multidimensional.

En primer lugar, se recomienda implementar un control más riguroso sobre la calidad de los registros médicos generados durante las consultas. Durante el tratamiento de los datos proporcionados por el sistema de vigilancia, se identificaron múltiples inconsistencias, tales como casillas vacías o datos incongruentes, lo que compromete la precisión de los análisis y puede generar sesgos en los resultados. Asegurar la integridad de los registros es fundamental para la confiabilidad de cualquier estudio epidemiológico y espacial.

Por otro lado, si bien este proyecto abordó la desnutrición aguda a partir de variables registradas en el sistema VIGILA y su distribución geográfica, es importante considerar en futuras investigaciones un enfoque más integral. La desnutrición es un fenómeno complejo que obedece a múltiples determinantes sociales, económicos, políticos y culturales. La incorporación de estas variables contextuales podría aportar una comprensión más profunda del problema y permitir la formulación de intervenciones más eficaces.

El estudio se enfocó en los casos registrados durante los años 2022 y 2023, específicamente en la Red de Salud Oriente de Santiago de Cali. Sin embargo, se recomienda ampliar el alcance geográfico de la investigación a otras zonas de la ciudad, e incluso del departamento, con el fin de generar comparaciones intercomunales y construir un panorama más amplio y representativo de la situación nutricional infantil en el territorio.

En cuanto al análisis espacial, se emplearon herramientas como los índices de Moran y LISA para identificar patrones de autocorrelación espacial. No obstante, en la literatura científica se documentan otros enfoques más robustos, como los modelos de regresión geográficamente ponderada (GWR), análisis espacio-temporales o técnicas de minería de datos espaciales. Estos métodos pueden enriquecer el análisis y revelar nuevas tendencias, por lo que se recomienda su implementación en etapas posteriores de investigación.

Respecto al software utilizado, el uso de ArcGIS Pro permitió realizar un manejo adecuado de la base de datos geográfica (BDG) y de los análisis espaciales. Sin embargo, dado que se trata de una herramienta licenciada, es pertinente considerar alternativas de código abierto como QGIS o gvSIG, las cuales ofrecen amplias capacidades analíticas sin generar costos adicionales, lo que puede facilitar la replicabilidad y sostenibilidad de proyectos similares.

En la etapa de visualización, se emplearon aplicaciones prediseñadas de ArcGIS Online para la publicación de resultados, lo cual facilitó la difusión interactiva de la información. No obstante, se sugiere explorar el desarrollo de visores personalizados mediante tecnologías de código abierto como Leaflet, MapLibre o Deck.gl. Estas herramientas permitirían una mayor personalización de la interfaz y una presentación más flexible de los datos, ajustándose a las necesidades específicas de cada caso de estudio.

Adicionalmente, se recomienda establecer mecanismos para la actualización periódica de la base de datos espacial, con el propósito de dar continuidad al sistema de monitoreo y facilitar la

toma de decisiones en tiempo real. Esta actualización puede integrarse a un sistema dinámico de vigilancia en salud que articule esfuerzos institucionales y comunitarios.

Por último, se propone fomentar la capacitación del personal técnico y de los tomadores de decisiones en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), de manera que puedan comprender, interpretar y aprovechar los resultados generados. Asimismo, se sugiere establecer alianzas con entidades gubernamentales y organizaciones sociales para que los hallazgos obtenidos sean incorporados en la planificación de políticas públicas enfocadas en la mejora de las condiciones nutricionales de la población infantil.

13. TRABAJOS FUTUROS

El presente proyecto constituye un primer acercamiento a la aplicación de la ingeniería topográfica en problemáticas sociales vinculadas a la salud pública; sin embargo, abre la posibilidad de desarrollar líneas de investigación que profundicen y amplíen los resultados aquí obtenidos. Una de estas líneas consiste en incorporar un mayor número de variables clínicas y sociales provenientes de los registros del SIVIGILA, como el régimen de aseguramiento en salud, la pertenencia étnica, los esquemas de vacunación, las rutas de atención de los pacientes y otros factores relacionados con medidas antropométricas y antecedentes clínicos. La inclusión de estos elementos permitiría un análisis más integral de los determinantes asociados a la desnutrición aguda infantil.

De igual manera, resulta pertinente ampliar el horizonte temporal del análisis a más años y extender la cobertura espacial hacia otras comunas o municipios del Valle del Cauca, lo que haría posible evaluar la persistencia de los patrones identificados y realizar comparaciones territoriales más amplias. En lo metodológico, investigaciones posteriores podrían explorar enfoques más robustos, tales como los modelos de regresión geográficamente ponderada, los análisis espaciotemporales o las técnicas de minería de datos espaciales, con el propósito de enriquecer los hallazgos e identificar nuevas tendencias.

Desde el componente tecnológico, también se abre la posibilidad de fortalecer el geoportal mediante la incorporación de módulos de análisis predictivo, sistemas de alerta temprana o aplicaciones móviles que faciliten el acceso a la información en campo para profesionales de la salud. Finalmente, se resalta la importancia de consolidar un trabajo interdisciplinar que articule la ingeniería topográfica con la medicina, la nutrición y las ciencias sociales, de manera que se logre una comprensión más integral del fenómeno y se potencie el desarrollo de herramientas geoespaciales al servicio de la gestión en salud pública.

14. BIBLIOGRAFÍA

- [1] El País. (2022). Las alarmantes cifras de desnutrición infantil que generan preocupación en Cali. Recuperado de: <https://www.elpais.com.co/cali/las-alarmanes-cifras-de-desnutricion-infantil-que-generan-preocupacion-en-cali-3015.html>. Fuente citada: Cali Cómo Vamos. Recuperado de: <https://www.calicomovamos.org.co>.
- [2] Reyes Balcazar, L. A., & Cortés Arismendi, D. R. (2024). *Características sociodemográficas, clínicas y las particularidades de riesgo en población infantil de 0–5 años del oriente de Cali, Valle*. Proyecto de investigación no publicado, Red de Salud del Oriente de Cali, Colombia.
- [3] Silva, S. G. E., & Scp, P. (n.d.). *CCAP v Volumen 15 Número 2 v 7 Desde lo social, lo económico*. Recuperado de: <http://www.fao>.
- [4] Saravana Kumar, V., Devika, S., George, S., & Jeyaseelan, L. (2017). Spatial mapping of acute diarrheal disease using GIS and estimation of relative risk using empirical Bayes approach. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 5(2), 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2016.07.004>.
- [5] Larsen, K., & Gilliland, J. (2008). Mapping the evolution of “food deserts” in a Canadian city: Supermarket accessibility in London, Ontario, 1961–2005. *International Journal of Health Geographics*, 7. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-7-16>.
- [6] Zambrano, L. I., Rodriguez, E., Espinoza-Salvado, I. A., Fuentes-Barahona, I. C., Lyra de Oliveira, T., Luciano da Veiga, G., Cláudio da Silva, J., Valle-Reconco, J. A., & Rodríguez-Morales, A. J. (2019). Spatial distribution of dengue in Honduras during 2016–2019 using a geographic information systems (GIS)–Dengue epidemic implications for public health and travel medicine. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2019.101517>.
- [7] Mostafa, M. A., Ogunmuyiwa, J. O., Appleby Tenney, K., Tip, S. L., Zamalloa, C. O. Z., Blossom, J. C., & Mpo, T. (2024). Health for all: Primary care facility localization in Lesotho using qualitative research and GIS. *Global Transitions*, 6, 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.glt.2024.05.002>.
- [8] Shube, H., Karuppannan, S., Haji, M., Paneerselvam, B., Kawo, N., Mechal, A., & Fekadu, A. (2024). Appraising groundwater quality and probabilistic human health risks from fluoride-enriched groundwater using the pollution index of groundwater (PIG) and GIS: a case study of Adama town and its vicinities in the central main Ethiopian Rift Valley. *RSC Advances*, 14(41), 30272–30285. <https://doi.org/10.1039/d4ra02890b>.
- [9] Saravana Kumar, V., Devika, S., George, S., & Jeyaseelan, L. (2017). Spatial mapping of acute diarrheal disease using GIS and estimation of relative risk using empirical Bayes approach. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 5(2), 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2016.07.004>.
- [10] Joyce, K. (2009). “To me it’s just another tool to help understand the evidence”: Public health decision-makers’ perceptions of the value of geographical information systems (GIS). *Health and Place*, 15(3), 831–840. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2009.01.004>.
- [11] JMP. (s.f.). Exploratory Data Analysis. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://www.jmp.com/es/statistics-knowledge-portal/exploratory-data-analysis>.

- [12] Castaño, J., & Matallana, M. (2003). El análisis exploratorio de datos en la investigación científica. *Redalyc*, 5(1), 65–78. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/122/12211106.pdf>
- [13] Quaglini, M., & Merello, J. (2012). Métodos multivariados en estudios de vulnerabilidad social en la provincia de Santa Fe. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: http://www.fcecon.unr.edu.ar/web-nueva/sites/default/files/u16/Decimocuertas/quaglini_merello_metodo_multivariados_en_estudios.pdf
- [14] Universidad Nacional de Córdoba. (s.f.). *Distancias de Mahalanobis*. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://ansenuza.ffyh.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086.1/1347/Programa%20lectivo%20estad%C3%ADstica%20-%20distancias%20de%20mahalanobis.pdf?sequence=5>
- [15] Scikit-learn. (s.f.). Ejemplo de detección de anomalías con Local Outlier Factor (LOF). Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: https://qu4nt.github.io/sklearn-doc-es/auto_examples/neighbors/plot_lof_outlier_detection.html
- [16] Analytics Lane. (2024, 12 de abril). Explorando Local Outlier Factor (LOF): Un enfoque eficaz para la detección de anomalías. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://www.analyticslane.com/2024/04/12/explorando-local-outlier-factor-lof-un-enfoque-eficaz-para-la-deteccion-de-anomalias/>
- [17] Batista, G. E., Monard, M. C., & Garcia, L. P. (2017). A study of K-nearest neighbour as an imputation method. *ScienceDirect*. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121217301516?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=91a278248dc98b48
- [18] CentroGeo. (s.f.). Descripción bivariada - Diplomado en Análisis de Información Geoespacial. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/158/1/14-Descripci%C3%B3n%20Bivariada%20-%20Diplomado%20en%20An%C3%A1lisis%20de%20Informaci%C3%B3n%20Geoespacial.pdf>
- [19] Universidad Central de Venezuela. (s.f.). Análisis bivariado de datos. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <http://caelum.ucv.ve/bitstream/10872/11400/1/An%C3%A1lisis%20bivariado%20de%20datos.pdf>
- [20] Instituto Nacional de Salud. (2024). *Protocolo de vigilancia en salud pública: Desnutrición aguda en menores de 5 años*. Dirección de Vigilancia y Análisis del Riesgo en Salud Pública, Grupo Factores de Riesgo Nutricional. <https://www.ins.gov.co>
- [21] Silvosus. (2021). Local Outlier Factor (LOF) en R. *RPubs*. Recuperado de: <https://rpubs.com/silvosus/773227>
- [22] Autor desconocido. (2025). Imputación KNN (Algoritmo de k vecinos más cercanos). *Repositorio Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. Recuperado el 3 de marzo de 2025, de: <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/d84b225f-429e-4517-9481-0a416f41d0a9/content>

- [23] Instituto Geográfico Nacional de España. (s.f.). *Cartografía básica. Base de datos geográfica (BDG)*. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/CBG-BD.pdf>
- [24] Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá. (s.f.). *Base de datos geográfica*. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://www.sdp.gov.co/transparencia/informacion-interes/glosario/base-de-datos-geografica>
- [25] Universidad Cooperativa de Colombia. (s.f.). *Diseño de bases de datos*. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/f507a959-8413-4883-9236-036b7748a988/content>. (Citando a Jacobson, Booch y Rumbaugh, 2000; Fowler & Scott, 1999).
- [26] Universitat Oberta de Catalunya. (s.f.). *Diseño conceptual de bases de datos*. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/149917/4/Dise%C3%B1oConceptualDeBasesDeDatos.pdf>
- [27] Erwin. (s.f.). *Data Modeling: Physical Data Model*. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://www.erwin.com/mx-es/solutions/data-modeling/physical.aspx>
- [28] KeepCoding. (s.f.). *Modelo de datos físicos*. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://keepcoding.io/blog/modelo-de-datos-fisicos/>
- [29] Universidad Europea. (s.f.). *¿Para qué sirve un gestor de base de datos?* Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://universidadeuropea.com/blog/para-que-sirve-gestor-base-datos/>
- [30] UNIR México. (s.f.). *Gestores de base de datos: qué son y cuáles son los más usados*. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://mexico.unir.net/noticias/ingenieria/gestores-de-base-de-datos/>
- [31] Saylor Academy. (s.f.). *Vector Data Models*. En *Essentials of Geographic Information Systems*. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: https://saylordotorg.github.io/text_essentials-of-geographic-information-systems/s08-02-vector-data-models.html. (Citando a Aronoff, 1989).
- [32] Esri. (s.f.). *Conceptos básicos de proyección para profesionales de SIG*. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/projections/projection-basics-for-gis-professionals.htm>
- [33] Esri. (s.f.). *Servicios WFS en ArcGIS Enterprise*. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://enterprise.arcgis.com/es/server/11.3/publish-services/linux/wfs-services.htm>
- [34] Física Linda. (s.f.). *Densidad*. Recuperado el 3 de marzo de 2025, de: <https://www.fisicalinda.com/courses/capitulo-5-hidrostatica/lessons/densidad/>
- [35] Autor desconocido. (s.f.). *Shoelace Theorem. Art of Problem Solving*. Recuperado el 3 de marzo de 2025, de: https://artofproblemsolving.com/wiki/index.php/Shoelace_Theorem
- [36] Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (s.f.). *Cálculo de centroides*. Recuperado el 3 de marzo de 2025, de: https://dcb.ingenieria.unam.mx/wp-content/themes/tempera%20child/CoordinacionesAcademicas/CA/LabM/Presentaciones/estatica/P05_centroidesGPM.pdf

- [37] Angeles1998. (2022). *Índice de Moran en R*. R Pubs. Recuperado el 3 de marzo de 2025, de: <https://rpubs.com/Angeles1998/918893>
- [38] Esri. (s.f.). *¿Cómo funciona la autocorrelación espacial (Índice I de Moran)?* Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/how-spatial-autocorrelation-moran-s-i-spatial-st.htm>
- [39] Morales, V. (s.f.). *Pruebas de autocorrelación espacial*. En *Econometría Espacial en R*. Recuperado el 3 de marzo de 2025, de: https://bookdown.org/victor_morales/SpatialEconometrics/pruebas-de-autocorrelaci%C3%B3n.html
- [40] DataCamp. (s.f.). *Distancia euclidiana: Concepto y aplicaciones en ciencia de datos*. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://www.datacamp.com/es/tutorial/euclidean-distance>
- [41] Esri. (s.f.). *Introducción a los geoportales en ArcGIS Enterprise*. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://enterprise.arcgis.com/es/inspire/10.8/get-started/introduction-to-geoportals.htm>
- [42] KeepCoding. (s.f.). *¿Qué es el desarrollo front-end?* Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://keepcoding.io/blog/que-es-el-desarrollo-front-end/>
- [43] Gluo. (s.f.). *¿Qué es el desarrollo back-end y para qué sirve?* Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://www.gluo.mx/blog/backend-que-es-y-para-que-sirve>
- [44] Esri. (s.f.). *¿Qué es un mapa web?* Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://doc.arcgis.com/es/arcgis-online/reference/what-is-web-map.htm>
- [45] Mozilla Developer Network. (s.f.). *¿Qué es un servidor web?* Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn_web_development/Howto/Web_mechanics/What_is_a_web_server
- [46] Esri. (s.f.). *Directorio GIS - Visores cartográficos*. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://geoapps.esri.co/directoriogis/visores.html>
- [47] The Bridge. (s.f.). *¿Qué es la interfaz de usuario (UI) y cómo funciona?* Recuperado el 2 de marzo de 2025, de: <https://thebridge.tech/blog/interfaz-de-usuario/>
- [48] Villar, J., Ariff, S., Gunier, R. B., Kennedy, S. H., et al. (2022). Maternal and newborn health and nutrition in low- and middle-income countries: A global analysis of risk factors. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 227(2), 144–155.e9. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2022.02.014>
- [49] Urrea Giraldo, F. (1999, enero). Diagnóstico sociodemográfico y patrones de pobreza por comunas en Cali en la década del 90 [Manuscrito no publicado]. FORO por Colombia – Regional Valle.
- [50] Barbary, O. (1998, diciembre). Afrocolombianos en Cali: ¿Cuántos son, dónde viven, de dónde vienen? En *Seminario Internacional “Identidades y movilidades en el Pacífico colombiano”* (pp. 1–18). Univalle (CIDSE) – ORSTOM, Cali, Colombia.
- [51] Urrea Giraldo, F., & Hurtado, A. (1999). Pobreza y exclusión de los afrocolombianos en Cali. *CIDSE* – CLACSO. Recuperado de: <https://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/colombia/cidse/art4.pdf>
- [52] Forero, M. Y. (2022). *Análisis de los casos de desnutrición aguda moderada y severa en menores de 5 años, registrados en la ESE Centro de Salud El Limonar del Municipio de Santiago de Cali*

durante el periodo 2020-2021 [Trabajo de grado, Universidad Santiago de Cali]. Repositorio Institucional Universidad Santiago de Cali.

- [53] Giraldo Granada, I., Martínez Agudelo, M. I., & Bedoya Sandoval, J. F. (2019). Factores asociados a la desnutrición aguda severa en niños y niñas de 0 a 5 años en el municipio de Palmira, año 2018. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 38(4), 396–403. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=55964256002>
- [54] Salles, M. A. V., Pires, F., Medeiros, C. B., & Oliveira, J. L. (1997). Development of a Computer Aided Geographic Database Design System. *Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)*.
- [55] Al-Sabagh, M. S., Al-Tayeb, M. A., & Al-Mahmoud, K. S. (2019). Integration of GIS and hydraulic design software for stormwater drainage networks. *Journal of Hydrology*, 575, 1302–1312. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.066>
- [56] Svob, S., Arroyo-Mora, J. P., & Kalacska, M. (2014). El desarrollo de una geodatabase forestal para planes de manejo de bosques naturales en Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 334, 244–255. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.09.002>
- [57] Zheng, S., Edwards, J. R., Dudeck, M. A., Patel, P. R., Wattenmaker, L., Mirza, M., Tejedor, S. C., Lemoine, K., Benin, A. L., & Pollock, D. A. (2021). Building an Interactive Geospatial Visualization Application for National Health Care–Associated Infection Surveillance: Development Study. *JMIR Public Health and Surveillance*, 7(7). <https://doi.org/10.2196/23528>
- [58] Lamas, V., de Castro, D., Cortiñas, A., & Luaces, M. R. (2024). GIS-Publisher: Simplifying web-based GIS application development for enhanced data dissemination. *SoftwareX*, 28, 101942. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2024.101942>
- [59] Ghosh, K., Chakraborty, A. S., & Mog, M. (2021). Prevalence of diarrhoea among under five children in India and its contextual determinants: A geo-spatial analysis. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 12, 100813. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2021.100813>
- [60] Abate, B. J., Melesse, A. W., Brhan, H., & Agimas, M. C. (2025). Spatial variation, pooled prevalence, and factors associated with perinatal mortality in Sub-Saharan Africa, evidence from demographic and health surveys 2015–2023: A geospatial regression approach. *eClinicalMedicine*, 81, 103137. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2025.103137>
- [61] Organización Mundial de la Salud. (s.f.). *Malnutrición*. Recuperado de: https://www.who.int/health-topics/malnutrition#tab=tab_2
- [62] Huertas López, J. A., Montañez Monroy, J. R., & Fuentes López, S. N. (2025). Determinación de zonas potenciales para centros de salud en el departamento de Guainía por medio de herramientas SIG (superposición ponderada) [Trabajo de grado de especialización, Universidad de Manizales]. *Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias e Ingeniería*.