

EMPLEO DE HERRAMIENTAS SIG EN EL DESARROLLO DE PROYECTOS CIVILES

**JOSÉ JULIÁN VILLATE CORREDOR
DIEGO FERNANDO GUALDRÓN ALFONSO
ASTRID PAOLA RODRÍGUEZ BAQUERO**

(Compiladores)

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

2023



EDITORIAL
U P T E C

Empleo de herramientas SIG en el desarrollo de proyectos civiles / Use of GIS tools in the development of civil projects / Villate Corredor, José Julián; Gualdrón Alfonso, Diego Fernando; Rodríguez Baquero, Astrid Paola (Compiladores). Tunja: Editorial UPTC, 2023. 172 p.

ISBN (impreso) 978-958-660-786-5

ISBN (ePub) 978-958-660-787-2

Incluye referencias bibliográficas

1. Sistemas de Información Geográfica. 2. Información Geoespacial. 3. Vulnerabilidad Sísmica. 4. Número de curva. 5. Análisis de coberturas. 6. Modelos hídricos.

(Dewey 624 /21) (Thema TN - Ingeniería civil, topografía y construcción)



Uptc
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia



HIDROSIG

Primera Edición, 2023

200 ejemplares (impresos)

Empleo de herramientas SIG en el desarrollo de proyectos civiles

Use of GIS tools in the development of civil projects.

ISBN (impreso) 978-958-660-786-5

ISBN (ePub) 978-958-660-787-2

Colección de Investigación UPTC No. 286

Proceso de arbitraje doble ciego

Recepción: agosto de 2022

Aprobación: febrero de 2023

© José Julián Villate Corredor, 2023
© Diego Fernando Gualdrón Alfonso, 2023
© Dalia Soraya Useche de Vega, 2023
© Astrid Paola Rodríguez Baquero, 2023
© Santiago Buitrago Pérez, 2023
© David Santiago Amaya Huertas, 2023
© Pablo Andrés Gil Leguizamón, 2023
© Camilo Andrés Rojas Cruz, 2023
© Emerson Rodrigo Rodríguez Moreno, 2023
© Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2023

Editorial UPTC

La Colina, Manzana 7, Casa 5

Avenida Central del Norte No. 39-115, Tunja,

Boyacá

comite.editorial@uptc.edu.co

www.uptc.edu.co

Rector, UPTC

Enrique Vera López

Comité Editorial

Dr. Carlos Mauricio Moreno Téllez

Dr. Jorge Andrés Sarmiento Rojas

Dra. Yolima Bolívar Suárez

Dra. Ruth Maribel Forero Castro

Mg. Pilar Jovanna Holguín Tovar

Dra. Nelsy Rocío González Gutiérrez

Mg. Edgar Nelson López López

Editor en Jefe

Dr. Óscar Pulido Cortés

Coordinadora Editorial

Corrección de Estilo

Mg. Andrea María Numpaque Acosta

Imprenta

Búhos Editores Ltda.

Tunja - Boyacá

Libro financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión - Dirección de Investigaciones de la UPTC y Convocatoria 08 Del 2020 Fortalecimiento 2. Se permite la reproducción parcial o total, con la autorización expresa de los titulares del derecho de autor. Este libro es registrado en Depósito Legal, según lo establecido en la Ley 44 de 1993, el Decreto 460 de 16 de marzo de 1995, el Decreto 2150 de 1995 y el Decreto 358 de 2000.

Impreso y hecho en Colombia / Printed and made in Colombia.

Libro resultado de investigación del proyecto titulado Sistemas de información geográfica para determinar la vulnerabilidad sísmica y respuesta de entidades de atención a desastres en la ciudad de Tunja con código SGI 2927

Citar este libro / Cite this book

Villate Corredor, J. & Gualdrón Alfonso, D. (Comps.) (2023). *Empleo de herramientas SIG en el desarrollo de proyectos civiles*. Editorial UPTC.

doi: <https://doi.org/10.19053/9789586607865>



RESUMEN

El libro *Empleo de herramientas SIG en el desarrollo de proyectos civiles*, aborda lo relacionado con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) aplicados en la ingeniería civil y ambiental; está compuesto por cuatro capítulos, que presentan metodologías y enfoques para el uso de análisis geoespaciales en la gestión de recursos naturales y la mitigación de riesgos.

En el Capítulo 1, se utiliza un enfoque basado en Sistemas de Información Geográfica para evaluar y predecir las abstracciones generadas en la cuenca alta del río Suárez utilizando el método del número de curva del *Soil Conservation Services* (SCS), fundamental para la determinación de la escorrentía y la gestión de los recursos hídricos.

El Capítulo 2, se centra en la determinación de la vulnerabilidad sísmica del municipio de Tunja, utilizando herramientas SIG, las cuales permiten realizar la zonificación de la ciudad, y contar con información base para la priorización de áreas de atención en caso de ocurrencia de un evento sísmico. Asimismo, el estudio demuestra la importancia de emplear las herramientas SIG en la toma de decisiones para la planificación y prevención de desastres.

En el Capítulo 3, a partir del empleo de Sistemas de Información Geográfica, se estudia la delimitación y análisis de coberturas vegetales influenciadas por la minería y la agricultura en el páramo de Rabanal utilizando Sistemas de Información Geográfica. Este capítulo destaca la importancia de la conservación de ecosistemas de alta montaña y cómo el uso de herramientas geoespaciales

puede aportar información valiosa para la gestión y protección de estas áreas.

Finalmente, en el Capítulo 4, se aborda la calibración y validación de modelos hidrológicos distribuidos, utilizando como caso de estudio la respuesta hidrológica y sedimentos en la microcuenca La Chorrera embalse La Copa. Este capítulo demuestra cómo los modelos hidrológicos y las herramientas geoespaciales pueden combinarse para generar información útil en la gestión y conservación de cuencas hidrográficas. Este libro ofrece una visión integral de la forma en la que las herramientas SIG pueden ser utilizadas en el desarrollo de proyectos relacionados con el manejo hidrológico ambiental, desde la gestión de recursos naturales, análisis de coberturas y la mitigación de riesgos en pro de la conservación del medio ambiente. Del mismo modo, aporta una lectura útil y enriquecedora para estudiantes, profesionales e investigadores interesados en la aplicación de tecnologías geoespaciales en la ingeniería civil y ambiental.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica; Información Geoespacial; Vulnerabilidad Sísmica; Número de curva; Análisis de coberturas; Modelos hídricos; Análisis multicriterio.

ABSTRACT

The book “Employment of GIS Tools in the Development of Civil Projects” covers different tools of Geographic Information Systems (GIS) applied in civil and environmental engineering, and is composed of four chapters that present methodologies and approaches for the use of geospatial analysis in the management of natural resources and risk mitigation.

In Chapter 1, a GIS-based approach is used to evaluate and predict abstractions generated in the upper basin of the Suárez River using the Soil Conservation Services (SCS) curve number method, which is fundamental for determining runoff and managing water resources.

Chapter 2 focuses on determining the seismic vulnerability of the municipality of Tunja using GIS tools. Based on this evaluation, city zoning was carried out, allowing for basic information to prioritize areas of attention in the event of a seismic event. Likewise, the study demonstrates the importance of using GIS tools in decision-making for planning and disaster prevention.

Chapter 3 analyzes the delimitation and analysis of vegetation cover influenced by mining and agriculture in the Rabanal moorland, using geographic information systems. This chapter highlights the importance of conserving high mountain ecosystems and how the use of geospatial tools can provide valuable information for their management and protection.

Finally, in Chapter 4, the calibration and validation of distributed hydrological models are addressed, using the La Chorrera micro-basin and La Copa reservoir as a case study for hydrological response and sediment. This chapter demonstrates how hydrological models and geospatial tools can be combined to generate useful information in the management and conservation of watersheds.

This book offers a comprehensive view of how GIS tools can be used in the development of projects related to environmental hydrological management, from natural resources management to coverage analysis and risk mitigation, all for the sake of environmental conservation. Likewise, it provides useful and enriching reading for students, professionals, and researchers interested in the application of geospatial technologies in civil and environmental engineering.

Keywords: Geographic Information Systems, Geospatial Information, Seismic Vulnerability, Curve Number, Coverage Analysis, Hydrological Models, Multi-criteria Analysis.

Contenido

1 CÁLCULO Y APLICACIÓN DEL MÉTODO DEL NÚMERO DE CURVA DEL SOIL CONSERVATION SERVICES (SCS) PARA LA CUENCA ALTA DEL RÍO SUÁREZ USANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	19
1.1 Introducción.....	19
1.2 Descripción del método.....	22
1.3 Metodología	26
1.3.1 Localización de la Cuenca	26
1.3.2 Descripción de la Cuenca	27
1.3.3 Elaboración del modelo.....	28
1.3.4 Productos y resultados	34
1.4 Consideraciones y conclusiones.....	40
2 APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL MUNICIPIO DE TUNJA.....	43
2.1 Introducción.....	43
2.2 Definición de los parámetros y puntajes para el cálculo del índice de Vulnerabilidad con base en la Metodología FUNVISIS	44
2.2.1 Índice de Vulnerabilidad.....	45
2.2.2 Índice de Vulnerabilidad asociado a la antigüedad.....	46
2.3 Metodología AHP para la asignación de ponderados de los Índices de Vulnerabilidad específicos.....	54
2.3.1 Evaluación Multicriterio.....	54
2.3.2 Clasificación de los Métodos MCDM.....	56
2.3.3 Proceso Analítico Jerárquico (AHP)	57
2.3.4 Implementación del AHP para Establecer el Índice de Vulnerabilidad de las edificaciones en la zona urbana del municipio de Tunja	59

2.4	Recolección de información en campo.....	63
2.5	Validación estadística de los Ráster IDW y Kriging	69
2.5.1	Validación Estadística del Ráster por el Método de Interpolación IDW	71
2.5.2	Validación Estadística del Ráster por el Método de Interpolación Kriging	73
2.5.3	Comparación de los Resultados Estadísticos de Idw y Kriging.....	76
2.6	Validación de los polígonos residenciales.....	78
2.7	Análisis y discusión.....	80
2.7.1	Índice de Vulnerabilidad Asociado al Deterioro.....	80
2.7.2	Índice de Vulnerabilidad Asociado a la Antigüedad.....	82
2.7.3	Índice de Vulnerabilidad Asociado a Irregularidades.....	85
2.7.4	Índice de Vulnerabilidad Asociado al Sistema Estructural.....	88
2.7.5	Índice de Vulnerabilidad Asociado a la Topografía	91
2.7.6	Índice de Vulnerabilidad Asociado a la Profundidad del Depósito	93
2.7.7	Vulnerabilidad Sísmica para la Ciudad de Tunja.....	93
2.8	Consideraciones y conclusiones	95

3 APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA DELIMITACIÓN Y ANÁLISIS DE COBERTURAS VEGETALES INFLUENCIADAS POR MINERÍA Y AGRICULTURA EN EL PÁRAMO DE RABANAL (BOYACÁ-COLOMBIA)

3.1	Introducción.....	97
3.2	Metodología	99
3.2.1	Área de Estudio	99
3.2.2	Descripción del Método	101
3.3	RESULTADOS.....	109
3.3.1	Descripción de coberturas vegetales	109
3.3.2	Dimensión Espacial del Paisaje de Rabanal (Estructura)..	113
3.4	Consideraciones y conclusiones.....	119

4 CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN EN MODELOS HIDROLÓGICOS DISTRIBUIDOS – CASO DE ESTUDIO: RESPUESTA HIDROLÓGICA Y SEDIMENTOS - MICROCUENCA LA CHORRERA EMBALSE LA COPA

4.1	Introducción.....	123
4.2	Desarrollo.....	125
4.2.1	Modelos hidrológicos	125
4.3	Modelo hidrológico SWAT en la determinación de la respuesta hidrológica de la microcuenca La Chorrera.....	136

4.3.1 Localización.....	136
4.3.2 Coberturas Vegetales.....	137
4.3.3 Meteorología.....	138
4.3.4 Características Químicas de Suelos - Ecuación Universal de Pérdida de Suelo	139
4.3.5 Outputs.....	147
4.3.6 Análisis de Sensibilidad	147
4.4 Consideraciones y conclusiones	152
Bibliografía.....	155

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Cuenca Alta del río Suárez	27
Figura 2. Clasificación Hidrológica de La Cuenca Alta del río Suárez	29
Figura 3. Uso de suelos de la Cuenca Alta del río Suárez.....	30
Figura 4. Reclasificación según SCS.....	33
Figura 5. Primera parte Modelo NC Cuenca Alta del río Suárez	34
Figura 6. NC Cuenca Alta del río Suárez	35
Figura 7. DEM Cuenca Alta del río Suárez.....	36
Figura 8. Mapa de pendientes de La Cuenca Alta del río Suárez.....	37
Figura 9. SACNII de La Cuenca Alta del río Suárez.....	39
Figura 10. Construcciones en las cuales se considera vulnerabilidad asociada a la topografía	53
Figura 11. Diagrama de flujo del Proceso Analítico Jerárquico (AHP).....	58
Figura 12. Datos de entrada ingresados en la hoja de cálculo	61
Figura 13. Ejemplo hoja de evaluación pareada por participante ..	62
Figura 14. Aplicativo web “Vulnerabilidad sísmica SIG” – Índices de vulnerabilidad.....	64
Figura 15. Aplicativo web “Vulnerabilidad sísmica SIG” – Información general.....	65
Figura 16. Catastro casco urbano ciudad de Tunja.....	66
Figura 17. Puntos tomados en campo herramienta de análisis Survey123.....	67
Figura 18. Ráster método de interpolación IDW.....	68
Figura 19. Ráster método de interpolación Kriging.....	69
Figura 20. Fragmento de la ubicación de las edificaciones residenciales inspeccionadas para la validación de los ráster.....	70
Figura 21. Distribución espacial índice de deterioro	82
Figura 22. Antigüedad de viviendas.....	83
Figura 23. Distribución espacial índice de antigüedad	85
Figura 24. Relación irregularidad encontradas.....	87

Figura 25. Distribución espacial índice de irregularidades	88
Figura 26. Distribución espacial índice de vulnerabilidad asociado al sistema estructural.....	90
Figura 27. Distribución espacial índice asociado a la topografía.....	92
Figura 28. Vulnerabilidad sísmica de Tunja.....	94
Figura 29. Representación 3D especialización vulnerabilidad sísmica municipio de Tunja	95
Figura 30. Área de estudio, recorte ventana de trabajo a partir de la capa de títulos mineros y delimitación del área protegida del complejo Rabanal-río Bogotá	100
Figura 31. Cadena de procesamiento para estimar la estructura espacial de Rabanal.....	102
Figura 32. Selección y delimitación de coberturas a partir de puntos de control; el color de cada punto corresponde a las categorías definidas según Corin Land Cover	105
Figura 33. Visualización del proceso de clasificación supervisada formato Ráster	106
Figura 34. Ventana de FRAGSTATS, obtención de métricas de paisaje	108
Figura 35. Coberturas de la tierra definidas para el páramo de Rabanal y sus zonas de influencia según sistema de clasificación CLC (IDEAM, 2010)	114
Figura 36. Métricas de composición. NP: número de parches; LPI: índice de parche más grande por cobertura.....	117
Figura 37. Métrica de configuración. Conectividad estructural entre parches de la misma cobertura estimada en distancias entre 50–1000 m	118
Figura 38. Métrica de configuración. Distancia al vecino más cercano entre parches de la misma cobertura.....	119
Figura 39. División político administrativa; Municipios microcuena “La Chorrera”- Distribución de subcuencas en ARCSWAT.....	136
Figura 40. Representación coberturas actuales microcuena La Chorrera, ArcGis	138
Figura 41. Mapa de Taxonomía de suelos Microcuena La Chorrera	141

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Asignación de números primos para los tipos hidrológicos de suelo	31
Tabla 2. Asignación de números primos para uso de suelos.....	31
Tabla 3. Precipitación acumulada para tres niveles de condición de humedad antecedente	38
Tabla 4. Valoración del Índice de Vulnerabilidad.....	46
Tabla 5. Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado con la antigüedad	47
Tabla 6. Valores del Índice de Vulnerabilidad según el formato FUNVISIS y NSR-10	49
Tabla 7. Índice de Vulnerabilidad asociado a la irregularidad.....	51
Tabla 8. Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado con la profundidad del depósito.....	52
Tabla 9. Valores de Índice de Vulnerabilidad asociados a la Topografía.....	53
Tabla 10. Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado al grado de deterioro	54
Tabla 11. Valores de los Índices de Vulnerabilidad Específicos (I_i)..	63
Tabla 12. Valores de frecuencia y distribución normal de los datos de validación para el método IDW.....	71
Tabla 13. Valores de frecuencia y distribución normal de los datos de validación para el método Kriging.....	74
Tabla 14. Índice de deterioro.....	80
Tabla 15. Irregularidades	86
Tabla 16. Tipologías estructurales encontradas	89
Tabla 17. Pendiente de construcción de viviendas	91
Tabla 18. Detalles de la imagen satelital utilizada en esta investigación	103
Tabla 19. Métricas utilizadas para cuantificar la composición, diversidad, configuración y forma del paisaje en páramo de Rabanal y su área de influencia.....	108

Tabla 20. Métricas de composición (área y porcentaje de área) estimada para Rabanal y su área de influencia	116
Tabla 21. Caracterización coberturas vegetales microcuenca La Chorrera	137
Tabla 22. Nomenclatura unidades taxonómicas y áreas dentro de la microcuenca La Chorrera	140
Tabla 23. Factor K de Erodabilidad del Suelo – Microcuenca La Chorrera Embalse La Copa.....	143
Tabla 24. Resultados Calibración del modelo. Comparación de coeficientes de desempeño estadístico	147
Tabla 25. Resultados Calibración del modelo. Comparación de coeficientes de desempeño estadístico	148

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Histograma del método IDW	72
Gráfica 2. Distribución normal del método IDW	73
Gráfica 3. Histograma del método Kriging.....	75
Gráfica 4. Distribución normal del método Kriging.....	75
Gráfica 5. Comparación de histogramas entre IDW y Kriging.....	76
Gráfica 6. Comparación de la distribución normal entre IDW y Kriging.....	77
Gráfica 7. Histograma de la validación de los polígonos residenciales	79
Gráfica 8. Relación, caudales y sedimentos sin calibración.....	149
Gráfica 9. Relación, caudales y sedimentos sin calibración	150
Gráfica 10. Relación, caudales y sedimentos sin calibración sin validación y con validación	151

