



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 19 de marzo

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

JOAN MANUEL MONTEALEGRE HERMOSA , con C.C. No. 7.717.493,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____

Titulado IDENTIFICACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL PAISAJE DEL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE SAN AGUSTÍN E INTERRELACIONES CON LAS ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS DE SU ENTORNO PRÓXIMO.

Presentado y aprobado en el año 2021 el 2 de diciembre como requisito para optar al título de

MAGÍSTER EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: *[Handwritten Signature]*

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: IDENTIFICACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL PAISAJE DEL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE SAN AGUSTÍN E INTERRELACIONES CON LAS ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS DE SU ENTORNO PRÓXIMO.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
MONTEALEGRE HERMOSA	JOAN MANUEL

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
OBREGÓN NEIRA	NELSON
TORRENTE TRUJILLO	ARMANDO

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
OBREGÓN NEIRA	NELSON

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: MAGÍSTER EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA O POSGRADO: MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

CIUDAD: NEIVA **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2 de Dic 2021 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 120

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas_X_ Fotografías_X_ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general_X_ Grabados_
Láminas___ Litografías___ Mapas_X_ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___
Tablas o Cuadros_X_



SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: NO

MATERIAL ANEXO: SI

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*): NO

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

Español	Inglés	Español	Inglés
1. Variabilidad climática	climatic variability	6. índice de vulnerabilidad	vulnerability index
2. Paisaje	Landscape	7. Cobertura vegetal	vegetable toppings
3. Exposición	exposition	8. Ambiental	environmental
4. Sensibilidad	sensitivity	9. Sostenibilidad	sustainability
5. Capacidad adaptativa	adaptive capacity	10. zona de vida	life zone

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El presente trabajo se hacen recopilaciones de datos, descripciones, modelizaciones y simulaciones de las interrelaciones dinámicas entre la variabilidad climática y la evolución del paisaje que sustenta el parque Arqueológico de San Agustín Huila y sus nexos con las actividades socioeconómicas que ocurren en su entorno, con el fin de conocer la dinámica de su índice de vulnerabilidad y en consecuencia la sostenibilidad ambiental de esta zona de vida.

La variabilidad climática es una amenaza real que socava la sostenibilidad ambiental de esta zona de vida ubicada en el Macizo Colombiano, en particular los escenarios climáticos y alteraciones en la cobertura vegetal; por ello la actividad de los agentes culturales y económicos deben unificar esfuerzos para su mitigación y proyectar escenarios más deseables.

Se exploró la percepción que tiene los habitantes de la región sobre el estado actual y las proyecciones futuras de este sistema de vida, para ello se realizaron entrevistas, reuniones con la comunidad y con representantes de las instituciones públicas y privadas que actúan en dicha región; además se aplicó una encuesta que fue analizada con un método de minería de datos aportado por el software WEKA, del cual se obtuvo el árbol de decisión correspondiente. Se llevó a cabo una exploración de datos estadísticos de variables climáticas, como por ejemplo temperatura y precipitaciones, lo cual se realizó con el software R-Projet. Se adoptó un modelo



de Autómatas Celulares para el estudio de imágenes satelitales de varios mapas correspondiente a este paisaje con el software QGIS, y se proyecta un mapa a futuro sobre dicho paisaje.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

In this work, data collections, descriptions, modeling and simulations of the dynamic interrelationships between climatic variability and the evolution of the landscape that sustains the Archaeological Park of San Agustín Huila and its links with the socioeconomic activities that occur in its environment are made, with in order to know the dynamics of its vulnerability index and consequently the environmental sustainability of this life zone.

Climate variability is a real threat that undermines the environmental sustainability of this life zone located in the Colombian Massif, in particular climate scenarios and changes in vegetation cover; therefore, the activity of cultural and economic agents must unify efforts for its mitigation and project more desirable scenarios.

The perception that the inhabitants of the region have about the current state and future projections of this life system was explored, for which interviews, meetings with the community and with representatives of public and private institutions that operate in said region were carried out; In addition, a survey was applied that was analyzed with a data mining method provided by the WEKA software, from which the corresponding decision tree was obtained. An exploration of statistical data of climatic variables was carried out, such as temperature and precipitation, which was carried out with the R-Projet software. A model of Cellular Automata was adopted for the study of satellite images of various maps corresponding to this landscape with the QGIS software, and a future map is projected on said landscape.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado ANGELA GORETTY GARCIA GOMEZ

Firma: 

Nombre Jurado ALFREDO OLAYA AMAYA

Firma: 

IDENTIFICACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL PAISAJE DEL
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE SAN AGUSTÍN E INTERRELACIONES CON LAS
ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS DE SU ENTORNO PRÓXIMO.

JOAN MANUEL MONTEALEGRE HERMOSA
INGENIERO AMBIENTAL

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL
NEIVA, COLOMBIA
2021

IDENTIFICACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL PAISAJE DEL
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE SAN AGUSTÍN E INTERRELACIONES CON LAS
ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS DE SU ENTORNO PRÓXIMO.

JOAN MANUEL MONTEALEGRE HERMOSA

Trabajo de grado, requisito Académico para optar el título de Magíster en Ingeniería y
Gestión Ambiental

Director:

NELSON OBREGÓN NEIRA

Ing. Civil PhD Recursos Hidráulicos Universidad Javeriana

Profesor Titular

Codirector

DR. ARMANDO TORRENTE TRUJILLO

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

NEIVA, COLOMBIA

2021

RESUMEN

El presente trabajo se hacen recopilaciones de datos, descripciones, modelizaciones y simulaciones de las interrelaciones dinámicas entre la variabilidad climática y la evolución del paisaje que sustenta el parque Arqueológico de San Agustín Huila y sus nexos con las actividades socioeconómicas que ocurren en su entorno cercano constituido por las veredas Mesitas, La Estrella y Nueva Zelanda, con el fin de conocer la dinámica de su índice de vulnerabilidad y en consecuencia la sostenibilidad ambiental de esta zona de vida. Lo cual es motivado porque dicho paisaje que protege un patrimonio cultural de la Nación Colombiana, declarado como tal por la UNESCO en el año 1995.

La variabilidad climática es una amenaza real que socava la sostenibilidad ambiental de esta zona de vida ubicada en el Macizo Colombiano, en particular los escenarios climáticos y alteraciones en la cobertura vegetal; por ello la actividad de los agentes culturales y económicos deben unificar esfuerzos para su mitigación y proyectar escenarios más deseables.

Se exploró la percepción que tiene los habitantes de la región sobre el estado actual y las proyecciones futuras de este sistema de vida, para ello se realizaron entrevistas, reuniones con la comunidad y con representantes de las instituciones públicas y privadas que actúan en dicha región; además se aplicó una encuesta que fue analizada con un método de minería de datos aportado por el software WEKA, del cual se obtuvo el árbol de decisión correspondiente. Se llevó a cabo una exploración de datos estadísticos de variables climáticas, como por ejemplo temperatura y precipitaciones, lo cual se realizó con el software R-Projet. Se adoptó un modelo de Autómatas Celulares para el estudio de imágenes satelitales de varios mapas correspondiente a este paisaje con el software QGIS, y se proyecta un mapa a futuro sobre dicho paisaje. Se visualizó con un software de modelización basado en agentes, denominado NETLOGO, los escenarios climáticos y las condiciones locales del parque arqueológico de San Agustín.

Este documento consta de nueve capítulos, donde los modelamientos por medio de los softwares utilizados para el manejo de las coberturas vegetal para los periodos comprendidos

desde el año 2000 al 2020, los cuales fueron comparados a través de modelos para determinar la variación de las coberturas vegetal durante los 20 años; se realiza un análisis de la variabilidad climática correlacionada con el estado del paisaje, haciendo especial énfasis en la sobrevivencia del bosque nativo. Los resultados obtenidos se presentan en el capítulo nueve y son un aporte para los procesos de planificación institucional sobre la sobrevivencia en estado óptimo del paisaje que rodea a este patrimonio cultural de la humanidad.

Palabras Clave: Parque Arqueológico de San Agustín, Variabilidad climática, Paisaje, exposición, sensibilidad, Capacidad adaptativa, índice de vulnerabilidad.

ABSTRACT

The present work compiles data, descriptions, modeling and simulations of the dynamic interrelationships between climate variability and the evolution of the landscape that sustains the Archaeological Park of San Agustín Huila and its links with the socioeconomic activities that occur in its close environment constituted through the Mesitas, La Estrella and New Zealand paths, in order to know the dynamics of their vulnerability index and consequently the environmental sustainability of this life zone. Which is motivated because said landscape that protects a cultural heritage of the Colombian Nation, declared as such by UNESCO in 1995.

Climate change is a real threat that undermines the environmental sustainability of this life zone located in the Colombian Massif, in particular the scenarios of climatic variability and alterations in the vegetation cover; Therefore, the activity of cultural and economic agents must unify efforts to mitigate it and project more desirable scenarios.

The perception that the inhabitants of the region have about the current state and future projections of this life system was explored. For this, interviews, meetings with the community and with representatives of public and private institutions that operate in said region were carried out; In addition, a survey was applied that was analyzed with a data mining method provided by the WEKA software, from which the corresponding decision tree was obtained. An exploration of statistical data of climatic variables, such as temperature and rainfall, was carried out, which was carried out with the R-Project software. A Cellular Automata model was adopted for the study of satellite images of several maps corresponding to this landscape with the QGIS software, and future maps were projected on said landscape. The most probable climate scenarios related to Global warming and the local conditions of the San Agustín archaeological park were visualized with agent-based modeling software, called NETLOGO.

This document consists of nine chapters, where the modeling by means of the software used for the management of plant covers for the periods from 2000 to 2020, which were compared through models to determine the variation of plant covers during the 20 years; An

analysis of the climatic variability correlated with the state of the landscape is carried out, with special emphasis on the survival of the native forest. The results obtained are presented in chapter nine and are a contribution to the institutional planning processes on the survival in an optimal state of the landscape that surrounds this cultural heritage of humanity.

Keywords: San Agustín Archaeological Park, Climate variability, Landscape, exposure, sensitivity, Adaptive capacity, vulnerability index.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi madre María Amparo Hermosa Q.E.P.D, a mi padre Mauro Montealegre Cárdenas, a mi esposa Diana Janeth Samboni, a mis hijos Jose Manuel, Mariana, Samuel y Joan Emiliano y mis hermanos Luis Mauro y Francisco Javier, la familia es la bendición a diario, el cual me protege y me lleva por el camino del bien.

AGRADECIMIENTOS

Expreso gratitud a Dr. NELSON OBREGRÓN NEIRA, maestro de la Universidad Javeriana por su orientación y dedicación en el desarrollo de la investigación y de aprendizaje.

A los docentes por sus perseverancias por acompañarme en las dificultades y apoyarme en este proceso de aprendizaje.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	5
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	15
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	16
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	17
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	18
1.4. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
CAPÍTULO 2. MARCOS DE REFERENCIA	19
2.1. ANTECEDENTES	19
2.2. MARCO CONCEPTUAL	22
2.3. MARCO TEÓRICO	24
2.3.1. TEORÍAS SOBRE SISTEMAS AMBIENTALES	24
2.3.2. AUTÓMATAS CELULARES, “EL JUEGO DE LA VIDA”	26
2.3.3. AUTÓMATAS CELULARES	27
CAPÍTULO 3. CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN	30
3.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL	30
3.2. ZONAS DE VIDA DE HOLDRIDGE DE SAN AGUSTÍN	31
3.3. BREVE HISTORIA DEL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE SAN AGUSTÍN.....	34
3.4. BREVE HISTORIA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN.....	35
3.4.1. PRIMERA FUNDACIÓN DE SAN AGUSTÍN	36
3.4.2. SEGUNDA FUNDACIÓN DE SAN AGUSTÍN	36
3.4.3. TERCERA FUNDACIÓN DEL PUEBLO.....	37
3.5. MICROCUENCAS HIDROGRAFICAS QUEBRADÓN Y EL LAVAPATAS	38
3.6. COMPONENTES DEL PAISAJE.....	40
3.6.1. EL CLIMA	40
3.6.2. COBERTURA VEGETAL.....	42
3.6.3. ESTADO DEL BOSQUE.....	43
3.6.4. TURISMO CULTURAL Y ECOTURISMO.....	45

3.6.5. IMPACTOS DEL TURISMO SOBRE LA IDENTIDAD CULTURAL.....	47
CAPITULO 4. METODOLOGÍA	47
4.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL ESTUDIO	48
4.2. FASES DEL PROYECTO.....	50
CAPÍTULO 5. PERCEPCIÓN DE LOS HABITANTES SOBRE ESTADO EL PAISAJE	52
Objetivo específico 1. Caracterizar el estado del paisaje del entorno próximo del Parque Arqueológico de San Agustín Huila.	52
5.1. ARBOL DE DECISIÓN.....	53
5.2. CRITERIO PARA LOS NIVELES DEL ÁRBOL DE DECISIÓN	58
CAPITULO 6. VARIABILIDAD CLIMÁTICA	62
Objetivo específico 2. Construir un modelo para cobertura vegetal y afectaciones climática que se ubica en el paisaje del entorno próximo al parque Arqueológico de San Agustín.	62
6.1. TEMPERATURA.....	62
6.2. PRECIPITACION	68
CAPITULO 7. COBERTURA VEGETAL	69
7.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA COBERTURA VEGETAL.....	69
7.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL MATERIAL VEGETATIVO	73
7.2.1. IMÁGENES SATELITALES DEL PARQUE ARQUEOLÓGICO SAN AGUSTÍN	
73	
7.2.2. MATERIAL VEGETATIVO MUERTO.....	76
7.2.3. MATERIAL VEGETATIVO NO SALUDABLE.....	76
7.2.4. MATERIAL VEGETATIVO SALUDABLE	77
7.2.5. ZONAS CON MATERIAL VEGETAL MUY SALUDABLE.....	78
7.3. PROBABILIDADES Y TRANSICIÓN DE LOS ESTADOS DE LAS ÁREA DE MATERIAL VEGETATIVO	78
7.4. GENERACIÓN DEL MAPA DE USO DE SUELO PARA 2025	80
7.5. RESULTADOS	81
7.6. VALIDACIÓN DEL MAPA DE CAMBIO DE USO DE SUELO 2025.....	86
CAPITULO 8. MODELIZACION ESCENARIOS BASADA EN AGENTES	88
8.1. NETLOGO	89
8.2. VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL ENTORNO.....	90
8.3. ESPACIO PARA LA SIMULACIÓN	91

8.4. BRILLO SOLAR Y ALBEDO	93
8.5. ESCENARIOS FUTUROS.....	94
CAPITULO 9. INDICE DE RIESGO CLIMÁTICO Y ANTRÓPICO	96
Objetivo específico 3. Establecer el Índice de Riesgo derivado de los impactos climáticos y antrópicos que afecta la zona de vida en el entorno próximo al Parque Arqueológico de San Agustín Huila. 96	
9.1. ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y EXPOSICIÓN	97
9.2. SENSIBILIDAD DEL SISTEMA	98
9.3. CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN	98
9.4. ESTIMATIVO DE LA VULNERABILIDAD	99
9.5. EXPOSICIÓN DEL SISTEMA	99
9.6. INDICE DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE LA ZONA DE VIDA	100
9.7. DINÁMICA PARA ESCENARIOS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	101
CONCLUSIONES.....	104
Bibliografía.....	106
ANEXOS.....	111
Anexos A. Árboles nativos de San Agustín	111
Anexo B. Satélite con Land Viewer.....	111
Anexo C. Netlogo: Modelización basada en agentes	112
Anexo D. Weka: Data Mining	113
Anexo E. Idrisis Terrset	113
Anexo F. Módulo Markov	114
Anexo G. Módulo Ca_Markov	115
Anexo H. Qgis	116
Anexo I. Calcular NVD	117
Anexo J. Encuesta aplicada a la población	118

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Registro de visitantes periodo 2018 al 2020.....	45
Tabla 2. Categorías del análisis multitemporal	70
Tabla 3. Tipo de material vegetativo en 2015, 2017 y 2020.	75

Tabla 4. Matriz de transición de áreas entre 2015-2020.....	81
---	----

Tabla 10. Tabla de categoría	101
------------------------------------	-----

LISTAS DE IMAGEN SATELITAL

Imagen Satelital 1. Fotografía 2015, Sentinel-2 L2A-S2A_tile_20151221_18NUH	71
---	----

Imagen Satelital 2. Fotografía 2017, Sentinel-2 L2BS2B_tile_20171215_18NUH	71
--	----

Imagen Satelital 3. Fotografía 2020, Sentinel-2 L2BS2B_tile_20200114_18NUH	71
--	----

Imagen Satelital 4. Imagen Satelital 4. Cobertura del material vegetativo 2015 – 2017 - 2020.....	73
--	----

Imagen Satelital 5. Evolución del material vegetativo muerto.....	76
---	----

Imagen Satelital 6. Evolución del material vegetativo no saludable.....	77
---	----

Imagen Satelital 7. Evolución del material vegetativo saludable.....	77
--	----

Imagen Satelital 8. Evolución del material vegetativo muy saludable.....	78
--	----

Imagen Satelital 9. Escenario simulado del vegetativo alrededor del parque Arqueológico de San Agustín para 2025.....	83
--	----

Imagen Satelital 10. Probabilidad condicional para el material vegetativo muerto	84
--	----

Imagen Satelital 11. Probabilidad condicional material vegetativo no saludable	85
--	----

Imagen Satelital 12. Probabilidad condicional para el material vegetativo saludable	85
---	----

Imagen Satelital 13. Probabilidad condicional para el material vegetal muy saludable	85
---	----

Imagen Satelital 14. Clasificación actual 2020 y el mapa proyectado al 2025.	87
---	----

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Proceso del Juego de la Vida	26
--	----

Figura 2. Resultado final del proceso	27
Figura 3. Vecindad de Autómatas Celulares	28
Figura 4. Departamento del Huila Macizo Colombiano	30
Figura 5. San Agustín vía Parque Arqueológico, Google earth	33
Figura 6. Parque Arqueológico de San Agustín	35
Figura 7. San Agustín año 1612	35
Figura 8. San Agustín año 1771	37
Figura 9. Principales fuentes hídrica de la zona de investigación	39
Figura 10. Fuente de Lavapatatas, Parque Arqueológico San Agustín	40
Figura 11. Fotografías Conservación actual del Paisaje	42
Figura 12. Fotografía Conservación del bosque alto de Lavapatatas	44
Figura 13. Registro de visitantes periodo 2018 al 2020	46
Figura 14. Delimitación del parque	48
Figura 15. Identificación de las veredas Mesitas, La Estrella y Nueva Zelanda. como zona de estudio.....	49
Figura 16. Diagrama Metodológico	50
Figura 17. Patrones de la encuesta.....	54
Figura 18. Variable tipo de actividad económica.....	54
Figura 19. Visualización simultánea de todas las variables	55
Figura 20. Validación cruzada de la parte 1 del árbol.....	55
Figura 21. Resumen del árbol.....	55
Figura 22. Matriz de confusión de árbol de decisión con el algoritmo J48 obtenido de WEKA.....	56

Figura 23. Visualización del árbol parte 2.....	56
Figura 24. Árbol de decisión usando el algoritmo J48 obtenido de WEKA	57
Figura 25. Extensión de predio.....	59
Figura 26. Árbol de decisión paso a paso.....	60
Figura 27. Árbol de decisión reconstruida	61
Figura 28. Normalidad de los datos.....	63
Figura 29. Diagrama de caja por año.....	64
Figura 30. Entropía por año.....	64
Figura 31. Regresión lineal.....	65
Figura 32. Temperatura y su crecimiento.....	65
Figura 33. Modelo ARMA(2,1)+GARCH(1,1) con bandas de volatilidad al 95%.....	66
Figura 34. ACF residuales estandarizados ARMA(2,1)+GARCH(1,1).....	66
Figura 35. Diagrama de cajas de precipitación.....	68
Figura 36. Entropía por año.....	69
Figura 37. Ganancia y pérdida neta por categoría de material vegetativo 2015 – 2020	75
Figura 38. Área ocupada categoría de material vegetativo en 2015, 2017 y 2020.....	76
Figura 39. Diagrama de transición de estados.....	79
Figura 40. Diagrama de transición de estados.....	81
Figura 41. Distribución material vegetativo alrededor del parque para 2025.	84
Figura 42. Comparación del área ocupada por cada categoría de material vegetativo en	86
Figura 43. Modelización Basada en Agentes, Ferber.....	89
Figura 44. Temperatura promedio.....	90
Figura 45. Temperatura máxima desde 2019	91

Figura 46. Brillo Solar (horas/día), mensual 2019	91
Figura 47. Escenario para la simulación.....	92
Figura 48. Variación de la temperatura	93
Figura 49. Albedo seleccionado	94
Figura 50. Temperatura seleccionada.....	94
Figura 51. Escenarios simulados	95
Figura 52. Escenarios con reforestación.....	95
Figura 53. Modelos para estimar riesgo variabilidad climática	97
Figura 54. Diagrama del Sistema dinámico del Índice de Vulnerabilidad.....	102
Figura 55. Sistema dinámico por NetLogo.....	103

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

El motivo de este proyecto es de aproximarnos a conocer las afectaciones observadas del clima sobre el paisaje que sustenta el Parque Arqueológico de San Agustín y sus relaciones con la actividad socioeconómica que se realiza en su entorno próximo; puesto que se trata de una dinámica con vínculos prácticos y teóricos de evidente trascendencia para sostenibilidad cultural, social, ecológica, económica de uno de los lugares más significativos del Huila y Colombia, como lo reconoció la UNESCO.

Este proyecto se usa simulación apoyándonos con los modelos existentes en el programa NETLOGO, WEKA para hacer el árbol de decisiones; el Programa R, para graficar el comportamiento de los parámetros de temperatura y de precipitación con datos registrados por el IDEAM de la estación del parque Arqueológico de San Agustín durante el periodo comprendido de los años 2000 al 2020; El QGIS para identificar la cobertura vegetal por medio de registro satelital, lo que permitió ajustar los programas para los modelos de simulación utilizado en este proyecto de investigación.

Este documento cuenta con nueve capítulos. Los cuales contienen: una introducción describiendo lo propuesto y lo alcanzado en la ejecución del proyecto. Los aspectos relevantes del marco teórico sobre lineamiento del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), sobre los estudios de variabilidad climática, las interrelaciones con el paisaje que sustenta en el entorno del parque Arqueológico de San Agustín Huila. Un estudio sobre la percepción que tiene la comunidad del entorno al parque Arqueológico y conocer el estado del paisaje que lo soporta. Se modelizó y simuló el fenómeno de variabilidad climática con los datos específicos proporcionados por la estación del Parque Arqueológico del IDEAM. Se estudió la evolución y proyección hasta el año 2025 de la dinámica de la cobertura vegetal con énfasis en cobertura de bosque muy saludable. Se realizaron simulaciones dinámicas con modelos basados en agentes para visualizar los escenarios de sostenibilidad posible de acuerdo a diversas

condiciones iniciales. Realizar una estimación del índice de vulnerabilidad a que está sometida la población de la zona y el paisaje.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En el presente proyecto se estudió los escenarios de la vulnerabilidad sobre el entorno que rodea al Parque Arqueológico del municipio de San Agustín (Huila), ubicado dentro del Macizo Colombiano, ante los fenómenos de variabilidad climática con sus interrelaciones con el paisaje, lo cual afecta a la sostenibilidad de las actividades socioeconómicas de la región.

Partiendo de las descripciones en este entorno que vinculan estos fenómenos naturales y socio económicos, se realizaron simulaciones dinámicas de escenarios que vivirán en un futuro próximo del paisaje que contiene el Parque Arqueológico, constituido por las veredas Mesitas, La Estrella y Nueva Zelanda vecinas al parque. Teniendo en cuenta que este territorio sirvió de asiento a una cultura milenaria y reconocido por la UNESCO como patrimonio cultural de la humanidad, en consecuencia, es administrado por el ICANH con el compromiso de que el municipio de San Agustín, entidades ambientales y la comunidad que habita en su entorno próximo participen en su sostenibilidad en el corto, mediano y largo plazo.

Los resultados de este estudio son necesarios para aproximarnos a la sostenibilidad del paisaje donde se ubica el Parque Arqueológico de San Agustín, en tanto la sobrevivencia de sus fuentes hídricas, conocimiento de la variabilidad climática, el estado de la cobertura vegetal y propagación de actividades socioeconómicas emergentes afectan el turismo cultural y la existencia de una agricultura sostenible.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La región en la que se localiza el Parque Arqueológico del municipio de San Agustín es afectada de manera recurrente por variabilidad climática causadas por los fenómenos de La Niña y del Niño, (Cenicafé, 2011) estas anomalías climáticas pueden impactar la sostenibilidad en los sectores turísticos y agropecuario del municipio y este proyecto permitió conocer con más detalle las características de este fenómeno.

Para conseguir los resultados para este proyecto, además de conocimiento que tiene la población afectada, se utilizaron herramientas tecnológicas para la modelización de este fenómeno climático y de la cobertura vegetal.

Este proyecto me llevó a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo afecta la variabilidad climática y actividades antrópicas sobre el paisaje y las afectaciones en las actividades socioeconómica que se desarrolla en el entorno próximo del parque arqueológico de San Agustín?.

Teniendo en cuenta que el parque Arqueológico de San Agustín es un patrimonio histórico de la humanidad desde el año 1995, su entorno próximo está constituido por tres veredas del municipio de San Agustín que tradicionalmente se han caracterizados por ser un territorio verde, ubicado en el Macizo Colombiano. Pero en los últimos años se percibe un deterioro ambiental que pone en peligro las crecientes actividades ecoturísticas, agroecológicas y factores relevantes que afecta la calidad de vida de los habitantes nativos. Este proyecto se marca en el numeral 13 de los Objetivos del Desarrollo Sostenible en lo que se refiere en la Acción por el clima (conservación de bosques).

1.3. JUSTIFICACIÓN

El paisaje es vulnerable a la variabilidad climática y antrópica, pues el aumento de las temperaturas afecta los nacederos, los sombríos, los senderos, ambientes apropiados para la vida, afecta la calidad de los cultivos, a la vez que provoca la proliferación de malas hierbas y plagas. Los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo. En general la variabilidad climática es negativa para la agricultura, amenazando la eficiencia o rendimiento de la actividad agropecuaria, en particular los cultivos de café que funcionan en el municipio de San Agustín.

La variabilidad climática es real y amenaza con socavar la sostenibilidad social y ecológica, en este sentido el Instituto Colombiano de Antropología e Historia, ICANH (Bonilla Ramírez, 2019), Ministerios de Medio Ambiente y Cultura destacan la sostenibilidad ambiental de este patrimonio cultural de la humanidad, en particular la del paisaje que soporta el ecoturismo y turismo cultural en esta región de Sur del Huila. Resulta que la modelización de la evolución de la cobertura vegetal es muy importante para mitigar los efectos negativos de este fenómeno y favorecer la adaptación de los habitantes de esta zona de vida.

1.4. OBJETIVO GENERAL

Identificar el impacto del cambio climático sobre el paisaje del parque arqueológico de San Agustín y las afectaciones sobre las actividades socioeconómicas que se desarrolla en su entorno próximo.

1.4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar el estado del paisaje del entorno próximo del Parque Arqueológico de San Agustín Huila.
2. Construir un modelo para cobertura vegetal y afectaciones climática que se ubica en el paisaje del entorno próximo al parque Arqueológico de San Agustín.
3. Establecer el Índice de Riesgo derivado de los impactos climáticos y antrópicos que afecta la zona de vida en el entorno próximo al Parque Arqueológico de San Agustín Huila.

CAPÍTULO 2. MARCOS DE REFERENCIA

2.1. ANTECEDENTES

En este proyecto hemos estudiado con detalle los siguientes documentos que nos sirven como antecedentes referentes al estudio del paisaje del entorno del Parque de San Agustín, con sus intervenciones socio económicas:

- En (Angel Oviedo, 2015) el cambio climático es una de las mayores preocupaciones de la humanidad dadas las enormes repercusiones que tiene para la sostenibilidad futura de su desarrollo socioeconómico y ambiental. Es por esto que se plantea la necesidad de investigar cuáles son las actuales y futuras zonas de vida de Holdridge para el departamento del Huila.

- En (Tovar Ospina, 2018) los impactos de las actividades turísticas del Parque Arqueológico de San Agustín (Huila) sobre las prácticas cultural del Cabildo Indígena Yanacona, se utilizaron los relatos de vida como técnica de investigación etnográfica para interpretar la manera en que los miembros de la comunidad Yanacona han percibido los impactos de la actividad turística del Parque Arqueológico de San Agustín en la comunidad indígena.
- En (Villalba Corredor & Malagón, 2011) se hace un estudio en el parque arqueológico como un lugar mágico con estructuras funerarias, elementos escultóricos como guardines e íconos para la comunidad de la región, como la Fuente de Lavapatas. La fuente ha sido motivo de proyectos de conservación interdisciplinarios para garantizar y salvaguardar, enfocando los esfuerzos a establecer mecanismos de deterioro por factores como el agua, el medioambiente, la intemperie y el biodeterioro.
- En (Rodríguez J, 2007) el Instituto Colombiano de Antropología e Historia, se incorporó el componente de Gestión Local con la propuesta de plan de manejo del parque arqueológico de San Agustín, para lo cual el estudio busca proporcionar una investigación preliminar sobre la capacidad de gestión social y económica de las comunidades vecinas al parque.
- En (Álvarez, Bateman, Quintero, & Ramírez, 2007) se hace un estudio relacionando la conservación en el Parque de San Agustín y su área de influencia, considerando los siguientes: la caracterización de las categorías de bienes arqueológicos que constituyen el Parque; el diagnóstico de su estado actual; los principios y criterios que rigen la conservación y los programas y proyectos que deben ser desarrollados en los próximos años.
- En (Lasso Valderrama & Nelly Yunda, 2017) se realizó la evaluación y seguimiento al Plan de Ordenación y Manejo de la Microcuenca de la Quebrada el “Quebradón” ubicada en el municipio de San Agustín Huila, con el objetivo de verificar los avances y el porcentaje de cumplimiento de cada uno de los programas y proyectos planteados en dicho plan, las cuales garantizarían en gran medida la solución a los problemas ambientales presentados en su momento.

- En (Perdomo Quesada & Polania Pérez, 2019) se implementó un modelo matemático y computacional utilizando autómatas celulares que permitió observar la dinámica en cuanto al cambio de cobertura que sufrió el complejo de humedales ubicado en el oriente de Neiva de un registro del año 1961, el cual muestran cambios de cobertura que evidencian el drástico decrecimiento que han tenido las zonas verdes y los cuerpos de agua.
- En (Quintero Ardila & Arroyo Morales, 2021) se estudian las medidas implementadas para detener los contagios de la enfermedad Covid-19, causada por el virus SARS-CoV-2, han tenido impactos positivos y negativos a nivel social, económico y ambiental a diferentes escalas mundiales, debido a la prohibición de actividades de contacto humano como el turismo. Para explicar esas alteraciones, desde el paradigma de la complejidad, se propuso una metodología pragmática que incluyó la recolección de información primaria y secundaria, y su procesamiento con los programas Qgis, Weka, Gephi y NetLogo.
- En (Pita Merino, 2007) se hace un diseño de cuatro subsistemas relacionado con el turismo en la isla de Galápagos Ecuador. Las variaciones se modelan con el programa NetLogo. Paralelamente a ello fueron recogidos todos los datos posibles que representaran a cada elemento. Con ellos se realizó una selección basada en sus correlaciones y fueron incluidos en el modelo como indicadores de la realidad.
- En (Santos Rocha, 2010) se hizo un estudio sobre el pronóstico de precipitación pluviométricas en la ciudad de Bogotá, haciendo uso de un modelo de Autómatas Celulares, reproduciendo el fenómeno para diferentes niveles de agregación temporal, obedeciendo a un periodo de tiempo comprendido en entre los años 1995 a 1999. Por el hecho de partir de información de estaciones puntuales se advierte que como resultado del proceso de interpolación para generar los campos de precipitación se encuentra una incertidumbre espacial.
- El grupo de investigación (NERCO- MAPPA-METEOSIM, 2019) realizó un estudio en Piura en Peru sobre la modelización de inundaciones, el cual tiene como objetivo estratégico

apoyar acciones de mitigación, adaptación al cambio climático y fomento de la protección del medio ambiente, para llevar a Perú un estudio que permita la identificación y priorización de medidas concretas de adaptación frente al cambio climático.

- En (Serrano Vasquez, 2016) se propone que el turismo cultural en los municipios de San Agustín e Isnos sea sostenible, involucrando a la comunidad con alternativas, tales como inversión social y evitar el sobrecupo de turistas, para controlar las afectaciones ambientales. De esta manera se beneficia directamente a la población de la región.
- En (IPCC, 2014) este grupo Intergubernamental de expertos, establece una metodología para la estimación de la variabilidad climática, con base en la adaptación y la vulnerabilidad a que están sometidos los ecosistemas.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Para el completo entendimiento de este proyecto es fundamental tener los conceptos claros y delimitados, propuestos entre otras entidades como IPCC 2014, entre otros; los cuales lo relacionamos a seguir:

- **Actividad ecoturística:** Se trata del turismo sostenible el cual "tiene plenamente en cuenta las repercusiones actuales y futuras, económicas, sociales y medioambientales para satisfacer las necesidades de los visitantes, de la industria, del entorno y de las comunidades anfitrionas" (Organización Mundial del Turismo, 2018).
- **Adaptación:** Proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar o evitar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y a sus efectos.

- **Capacidad adaptativa:** Se refiere a la capacidad de un sistema de enfrentar los efectos del cambio climático, al potencial de implementar medidas que ayuden a disminuir los posibles impactos identificados. La capacidad adaptativa de una sociedad refleja su capacidad de modificar sus características o comportamientos para enfrentar de una mejor manera o anticiparse a los factores que impulsan el cambio capacidad de los territorios de vida para vivir sosteniblemente en nuevas condiciones ambientales.
- **Exposición:** La presencia de personas; medios de subsistencia; especies o ecosistemas; funciones, servicios y recursos ambientales; infraestructura; o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente.
- **Impactos:** Efectos en los sistemas naturales y humanos, los impactos generalmente se refieren a efectos en las vidas, medios de subsistencia, salud, ecosistemas, economías, sociedades, culturas, servicios e infraestructuras debido a la interacción de los cambios climáticos o fenómenos climáticos peligrosos que ocurren en un lapso de tiempo específico y a la vulnerabilidad de las sociedades o los sistemas expuestos a ellos.
- **Paisaje:** Entorno geográfico superficial, integrado por componentes naturales y complejos de diferente rango taxonómico que es formado bajo la influencia de los procesos naturales y de la actividad modificadora del hombre.
- **Peligro:** Acaecimiento potencial de un suceso o tendencia físico de origen natural o humano, o un impacto físico, que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios, ecosistemas y recursos ambientales.
- **Riesgo:** Potencial de consecuencias en que algo de valor está en peligro con un desenlace incierto, reconociendo la diversidad de valores. A menudo el riesgo se representa como la probabilidad de acaecimiento de sucesos o tendencias peligrosos multiplicada por los

impactos en caso de que ocurran tales sucesos o tendencias. Los riesgos resultan de la interacción de la vulnerabilidad, la exposición y el peligro.

- **Sensibilidad:** Es el grado en el que un sistema es potencialmente modificado o afectado por un disturbio, interno, externo o un grupo de ellos. La medida determina el grado en el que un sistema se puede ver afectado por un estrés, son las condiciones humanas y ambientales que pueden empeorar o disminuir los impactos por un determinado fenómeno.
- **Variabilidad climática:** Es una medida del rango en que los elementos climáticos, como temperatura o lluvia, varían de un año a otro.
- **Vulnerabilidad:** Propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación.
- **Zonas de vida:** Es una región biogeográfica que está caracterizada por parámetros climáticos como la temperatura y precipitaciones, en la que desarrollan formas de vida similares.

2.3. MARCO TEÓRICO

A continuación, se describen los principales términos que sustentan este trabajo de investigación, que son conceptos que dan soporte al problema, a la metodología y al análisis de los resultados.

2.3.1. TEORÍAS SOBRE SISTEMAS AMBIENTALES

En quark y el jaguar se explica la evolución del cambio climático (Mann, 2003), en el cual sus agentes actúan y reaccionan como tribu (Hennessey, 2012) logrando modificar sus creencias y fundando una nueva cultura. En particular comprendiendo que el cambio climático genera

variabilidad brusca en las temperaturas y régimen de lluvias que perturban el ecosistema (Alteri, Miguel A., 2013) comprometiendo la vida en su conjunto, en cuanto afecta diversidad vegetal, complejidad del paisaje, manejo del suelo y existencia del agua.

En un estudio previo sobre la misma región (Serrano Vasquez, 2016) se propone potenciar la capacidad de resistir y recuperar, frente a la incertidumbre de estos fenómenos de variabilidad climática, generar turismo cultural sostenible que priorice el bienestar de la comunidad que habita esta zona y que sea compatible con el denominado agroturismo.

Según lo propuesto en el Panel Intergubernamental sobre el cambio climático, por sus siglas en inglés (IPCC, 1995) página 572, evaluamos cambio climático debido a la variabilidad climática como función de la exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa de sus habitantes.

En este estudio sobre cambio climático resultó relevante para conocer la evolución del paisaje (Gavier, 2018) para simular la dinámica en la transformación del bosque a la agricultura (Brown, 2008), quien desarrolló un modelo espacio-temporal de la dinámica de maximización de la utilidad de cultivos frente a la cobertura forestal. La toma de decisiones de los agricultores se basa en preferencias personales que están representadas por la importancia relativa de los diversos factores que influyen en los agricultores en la toma de decisiones sobre el uso de la tierra. Sin embargo, la función de decisión no incluye la influencia de las circunstancias socioeconómicas del área local, pero está claro que estos factores externos influyen en las decisiones sobre uso de la tierra (Castella, 2005). Además, la selección de campo opera por separado para cada hogar dentro de la tenencia de la tierra individual, pero no representa claramente las interacciones entre los diferentes hogares en el proceso de toma de decisiones. Se reconoce que los agricultores a menudo están influenciados por las decisiones de sus vecinos.

2.3.2. AUTÓMATAS CELULARES, “EL JUEGO DE LA VIDA”

El Juego de la vida es uno de los modelos más elementales de un autómata celular, este juego consiste en la evolución de los estados de las celdas, donde ellas ocupan un punto en una cuadrícula bidimensional; tiene dos estados “vivo” o “muerto” y se conecta a ocho vecinos a lo largo de las líneas de la cuadrícula. Siguen las siguientes reglas de transición para su actualización su dinámica:

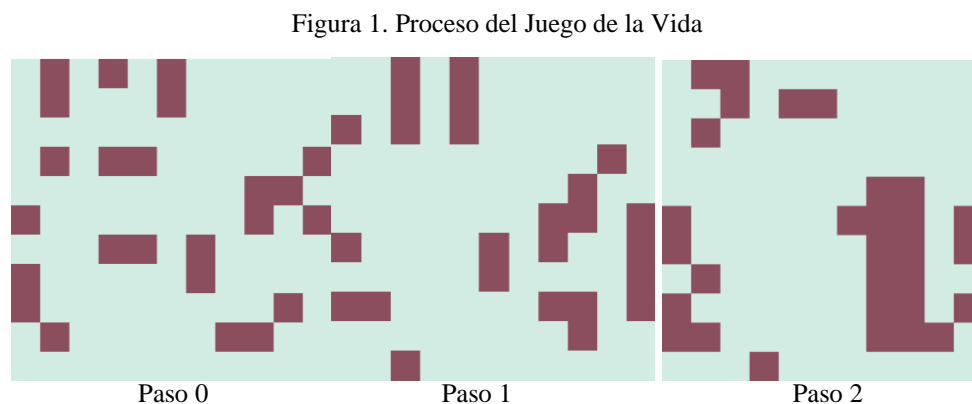
Si una célula está viva y tiene dos o tres vecinas vivas, sobrevive

Si una célula está muerta y tiene tres vecinas vivas, nace.

Si una célula está viva y tiene más de tres vecinas vivas, muere.

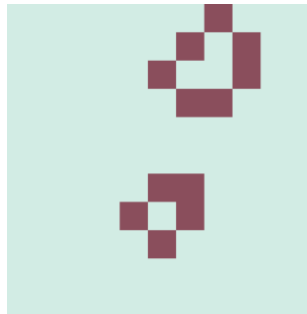
La creatividad del juego de la vida radica en su evolución en el tiempo. Para ello, nos ayudándonos del software NetLogo para conocer la evolución.

En la Figura 1. Se muestra el paso 0 en cuadrículas bidimensionales o celdas, con los estados ya dados, unas en negro que indican que están vivas y las que están en blanco indican que están muertas; mediante las normas del juego, se obtiene el paso 1.



Volviendo a aplicar la ley de la actualización con el resultado del paso 0 (paso 1) obtendremos el paso 2 y haciendo el proceso repetitivo se forma el juego de la vida, como se muestran los pasos que siguen hasta el final del proceso, la Figura 2.

Figura 2. Resultado final del proceso



2.3.3. AUTÓMATAS CELULARES

John Von Neumann en la década de 1940 intentaba modelar una máquina que fuera capaz de auto replicarse, llegando así a un modelo matemático de dicha maquina con reglas complicadas sobre una red rectangular. En este punto surgen los llamados Autómatas Celulares o (AC), “Inicialmente fueron interpretados como conjunto de células que crecían, se reproducían y morían a medida que pasaba el tiempo” (Reyes Gómez, 2011, pág. 3). Un autómata celular (AC), es un sistema dinámico discreto, compuesto por un conjunto de celdas o células que adquieren distintos estados o valores. Estos estados pasan de uno a otro en instante tiempo discreto o con valores enteros que cuantifican intervalos regulares. Los cambios que presentan las celdas están determinados por una expresión matemática, que es sensible a los estados de las celdas vecinas, la cual se le conoce como regla de transición local. (Reyes Gómez, 2011).

La simulación nos permite representar el sistema para comprender el comportamiento dinámico del sistema, partiendo de un estado o configuración inicial de células y cambiando en cada instante los estados de todas ellas de forma síncrona (Reyes Gómez, 2011).

2.3.3.1. ELEMENTOS DE UN AUTÓMATA CELULAR

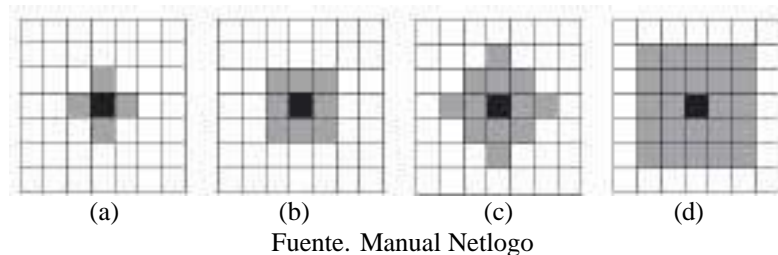
La definición de un Autómata Celular, AC, requiere mencionar sus elementos básicos: Arreglo Regular en el plano de 2 dimensiones o un espacio n-dimensional y cada división homogénea de arreglo es llamada célula.

Conjunto de Estados es finito y cada elemento o célula del arreglo toma un valor de este conjunto de estados. También se denomina alfabeto y puede ser expresado en valores o colores.

Configuración Inicial. Consiste en asignar un estado a cada una de las células del espacio de evolución inicial del sistema.

Vecindades. Define el conjunto contiguo de células y posición relativa respecto a cada una de ellas. A cada vecindad diferente corresponde un elemento del conjunto de estados.

Figura 3. Vecindad de Autómatas Celulares



Fuente. Manual Netlogo

Función Local. Es la regla de evolución que determina el comportamiento del AC. Se conforma de una célula central y sus vecindades. Define como debe cambiar de estado cada célula dependiendo de los estados anteriores de sus vecindades. Puede ser una expresión algebraica o un grupo de ecuaciones (Reyes Gómez, 2011, pág. 4).

2.3.3.2. CADENAS DE MARKOV

Se representan mediante matrices de probabilidades de transición, designada por P_{ij} , (Scherer, 1972), representa la probabilidad de moverse del estado i al estado j en tiempo T , dado que el proceso está en el estado i en el tiempo (t) , lo cual es el mecanismo básico en el proceso Markov, que proporciona un potencial modelo descriptivo y prospectivo para el análisis de los cambios en el uso de la tierra y la distribución de los mismos. Aplicando lo mencionado a una parcela se tiene que la probabilidad de que esté en uso i en un tiempo (t) , representado por la expresión $\pi_i(t)$, y la probabilidad de un cambio de uso de i a j durante un intervalo de tiempo $(t, t+1)$ como $P_{ij}(t, t+1)$, entonces la probabilidad de que esa parcela esté en una categoría de uso j en el tiempo $(t+1)$, será dada por la expresión probabilística siguiente:

$$\pi_j(t+1) = \sum_{i=1}^n \pi_i(t) * P_{ij}(t, t+1)$$

donde (n) es el número total de categorías de uso. Simplificando, se tiene que la distribución de probabilidades de las variables aleatorias de uso de la tierra en tiempo $(t+1)$, será dada por la multiplicación matricial siguiente:

$$\pi_i(t+1) = \pi_i(t) * P(t, t+1)$$

Y para el caso donde las probabilidades de transición dependen sólo del intervalo de tiempo $(t, t+1)$, se considera que el proceso es temporalmente homogéneo, pudiendo escribirse la ecuación:

$$\pi(t+1) = \pi(t) * P$$

Donde, $P_{ij} = P(X_{n+1} = s_j | X_n = s_i) \Rightarrow P = \begin{pmatrix} p_{11} & \dots & p_{1k} \\ p_{21} & \dots & p_{2k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{k1} & \dots & p_{kk} \end{pmatrix}$

De esta manera, el proceso Markov se lleva a efecto mediante operaciones entre matrices. Pudiendo hacerse de forma automatizada, con el software apropiado, obteniéndose la matriz de probabilidades de transición a partir de la matriz de conteo Scherer (1972), generada de la tabulación cruzada de los datos de dos fechas que tienen las mismas categorías de uso en la clasificación. A partir de la matriz de probabilidades de transición o de tabulación cruzada proporcional, se genera la matriz de probabilidades condicionales que permite hacer el pronóstico de los cambios en función de probabilidades de cambio.

CAPÍTULO 3. CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL

El municipio de San Agustín se encuentra localizada al sur del departamento de Huila sobre el Macizo Colombiano el cual presenta una fisiografía compleja, por lo cual el comportamiento climático de la zona es muy variado (Olaya Amaya & Sanchez Ramírez, 2005), que dada su posición geográfica también recibe influencia de la región Amazónica y por ello la población en esta región se hace vulnerables a regímenes de lluvias y a la variabilidad de temperaturas, lo que se ha registrado en los años recientes en la estación del Alto Magdalena del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, ubicada en la cercanías del Parque.

Figura 4. Departamento del Huila Macizo Colombiano



Fuente: Fundación del Macizo.

El municipio de San Agustín se encuentra ubicado al sur del Departamento del Huila, con una superficie de 1.386 kms². Limitando con el departamento del Cauca y los municipios huilenses de Isnos y Pitalito.

3.2. ZONAS DE VIDA DE HOLDRIDGE DE SAN AGUSTÍN

Posee diversos pisos térmicos siendo su temperatura promedio de 21°C y su altura también promedio cercana a los 1730 msnm. El parque Arqueológico de San Agustín fue incluido en el listado de bienes de patrimonio Mundial el 5 de diciembre de 1995.

El municipio de San Agustín se encuentra en una zona media sobre las estribaciones de la cordillera donde presenta una variación térmica entre los 18 °C y 22 °C y su zona de vida esta identificadas, con respecto a la temperatura, precipitación, el cual ocupa una superficie del departamento del Huila que es de 19.890 Km² y su distribución en porcentaje es la siguiente (Angel Oviedo, 2015):

- Bosque muy húmedo Premontano (bmh-PM), gran extensión de la zona cafetera que corresponde a esta zona de vida, con un área de 285 Km². Los cafetales en estas tierras están asociados con la caña de azúcar, maíz, plátano y frutales. En estas zonas cafeteras es necesario conservar los bosques que existen, emprender planes de reforestación, cultivar con prácticas de manejo de suelos y evitar por todos los medios posibles la contaminación de las aguas. La explicación de este bosque muy húmedo premontano, es evidente por las lluvias debidas a efectos orográficos que se presentan en la vertiente de las cordilleras que rodea al municipio. (Angel Oviedo, 2015)
- Bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB) Esta zona de vida cubre 328 Km², abarca amplias áreas montañosas, Los límites climáticos generales son una biotemperatura media anual entre 12 a 18°C y un promedio de precipitación total por año entre 2000 y 4000 mm. Es necesario cuidar con esmero los bosques que han resistido la tala masiva. Las abundantes lluvias caídas en el año sobre estas tierras frías, desempeñan un papel importantísimo en el

régimen hidrológico de los ríos que abastecen con agua para el consumo humano. (Angel Oviedo, 2015)

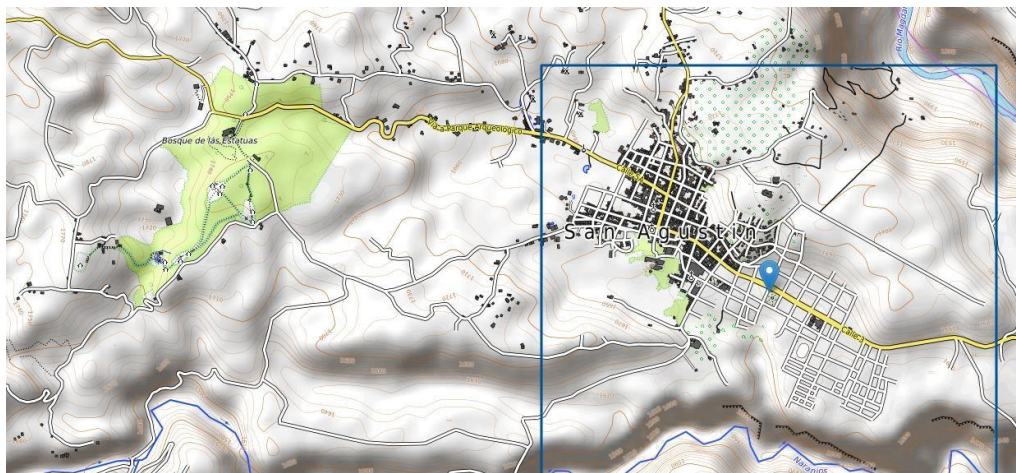
- Bosque muy húmedo Montano Bajo transición fría-seca (bmh-MBΔfs) Esta zona de vida que abarca 94 Km², los límites climáticos generales son una biotemperatura media anual entre 12 a 18°C y un promedio de precipitación total por año entre 2000 y 4000 mm. La situación de esta Zona de Vida es explicable por la gran cantidad de lluvias, debida a efectos orográficos que se presentan en las vertientes de las cordilleras y los bosques originales han desaparecido, siendo sustituidos por cultivos y pastos. (Angel Oviedo, 2015).
- Bosque muy húmedo Montano (bmh-M) Esta zona de vida tiene un área de 432 Km², esta zona de vida tiene una biotemperatura media anual entre 6°C a 12°C y un promedio de precipitación total por año entre 1000 y 2000 mm. (Angel Oviedo, 2015).
- Bosque pluvial Montano Bajo (bp-MB) Con una superficie total de 398 Km², presenta como límites climáticos generales una biotemperatura media anual entre 12°C a 18°C y un promedio de precipitación total por año superior a 4000 mm, siendo una tierra fría superhúmeda. El ambiente es de constante humedad, estas áreas están ocupadas por bosques nativos, rastrojos o pequeños potreros, no son recomendables para agricultura y su uso debe ser con destino a montes nativos protectores. (Angel Oviedo, 2015).
- Páramo pluvial Subandino (pp-SA) se halla con una extensión de 18 Km², los límites climáticos generales son una biotemperatura media anual entre 3°C a 6°C y un promedio de precipitación total por año entre 1000 y 2000 mm. La vegetación característica del páramo se encuentran los frailejones, los musgos, Sphagnum sp; las gramíneas, etc.; y epífitas de varias familias (orquídeas, aráceas, bromeliáceas). (Angel Oviedo, 2015).

También hace parte de las reservas de Biosfera del planeta, desde 1979 y es la cuna del principal río de Colombia, el Río Grande de La Magdalena. Su evidencia humana más antiguo data de 3.000 a.C. Su fundación oficial fue el 20 de noviembre de 1790, aunque existe un primer registro de poblamiento que se remonta a 1601.

El parque arqueológico de San Agustín es uno de los parques arqueológicos más grandes e importante de Colombia. Sus esculturas datan desde 3000 años antes de Cristo hasta la conquista española. Se localiza a dos y medio kilómetros de la población de San Agustín y hacia el oeste, se halla la fracción de Mesitas, asiento principal de la civilización indígena agustiniana. En el lugar se encuentra el Parque Arqueológico Nacional, dependiente del Instituto Colombiano de Antropología (Historia).

El Parque Arqueológico de San Agustín, cubre un área de aproximadamente 78 hectáreas a una altitud de 1.730 m s. n. m., Distancia del casco urbano: 2.5 Km. al Oeste del poblado de San Agustín y a 33 kilómetros de la población de Pitalito en el Huila y a 220 kilómetros de la ciudad de Neiva, la capital departamental. Es considerado como la Necrópolis más grande del mundo y declarada por la Unesco como Patrimonio de la Humanidad y con coordenadas $1^{\circ}55'00''N$ $76^{\circ}14'00''O$ ubicado en un sector del Macizo Colombiano al sur del departamento del Huila.

Figura 5. San Agustín vía Parque Arqueológico, Google earth



Fuente Google earth

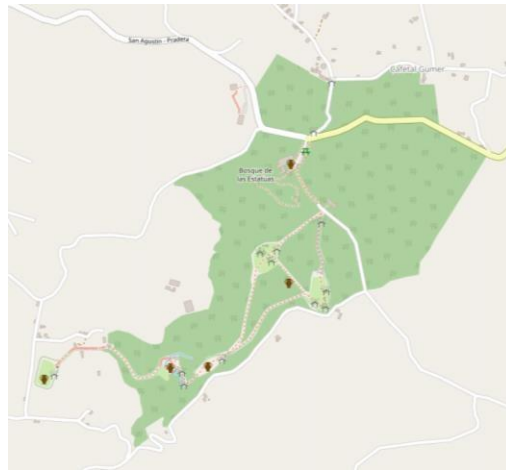
3.3. BREVE HISTORIA DEL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE SAN AGUSTÍN

El Parque Arqueológico de San Agustín, Huila, fue creado mediante la Ley 103 de 1931 por el Congreso de la República de Colombia, mediante la cual se declaraban “de utilidad pública” los bienes arqueológicos de la región del Alto Magdalena, se apropiaban presupuestos “para emprender excavaciones en las regiones del Alto Magdalena, San Agustín y Pitalito”, se ordenaba al gobierno “nombrar un arqueólogo de reconocida idoneidad para que efectúe los trabajos a que dé lugar el cumplimiento de la anterior disposición” y se facultaba al “Gobierno Nacional para comprar los terrenos arqueológicos de las regiones mencionadas con el objeto de transformarlos en un parque nacional”. El interés por estudiar y proteger especialmente los sitios arqueológicos del Alto Magdalena está estrechamente vinculado a la publicación en español del libro “Arte Monumental Prehistórico” que reportaba los resultados de las primeras investigaciones arqueológicas en Colombia, adelantadas por el etnólogo Konrad Theodor Preuss en San Agustín, entre 1913 y 1914 (1931, 1931).

Desde 1938, el gobierno nacional, en cumplimiento de la mencionada ley, estableció el Servicio Arqueológico Nacional inicialmente alojado en el Ministerio de Educación y situó la sede principal del parque en el predio de Mesitas, formado por parcelas adquiridas gradualmente desde 1936 de sus antiguos propietarios. El gobierno creó definitivamente el parque mediante Decreto 904 de 1941 con el nombre de “Monumento Nacional del Alto Magdalena y San Agustín”. Para esta época ya se habían adelantado parte de los trabajos arqueológicos ordenados por ley, a cargo del prehistoriador español José Pérez de Barradas y del antropólogo colombiano Gregorio Hernández de Alba, quienes trabajaron al frente del Servicio Arqueológico, organizando investigaciones e implementando la protección de los yacimientos arqueológicos del país.

El parque arqueológico corresponde a una pequeña zona de concentración de tumbas de la total zona arqueológica de mayor extensión que alcanza. Fue fundado el 20/nov/1935 y en 1995 fue declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, es la necrópolis de mayor extensión a nivel mundial.

Figura 6. Parque Arqueológico de San Agustín



Fuente. Google earth

3.4. BREVE HISTORIA DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN

Figura 7. San Agustín año 1612



Fuente Alcaldía de San Agustín

San Agustín es un prospero municipio del sur del Huila, la historia de esta región del país ha sido contada por diferentes historiadores y autores. San Agustín recibe su nombre debido a la presencia de misioneros agustinianos que épocas de colonia realizaban trabajos religiosos con los indígenas de la región. El municipio ha sobrevivido a confrontaciones entre españoles en la época de la colonia, enfrentamientos entre indígenas y por su ubicación. San Agustín fue fundado tres veces:

3.4.1. PRIMERA FUNDACIÓN DE SAN AGUSTÍN

El poblado de San Agustín se fundó entre los años de 1608 y 1612 con los indios Mulale y Laculata por, Pedro Saenz de la Guía, quien cumplía órdenes del gobernador de Neiva y Timana Don Pedro de Velazco. En 1928 San Agustín tenía ya una vieja iglesia de bahareque con techo pajizo (Agustín, 2009).

Esta primera fundación fue destruida por los andakies en la primera mitad del siglo XVIII, siendo reconstruida en 1796 con indios llevados de la provincia de Almaguer, probablemente en el mismo lugar que ocupará antes (Agustín, 2009).

Los habitantes del Alto Magdalena al igual que sus vecinos y aliados los Páez y Guanacas no vivían en pueblos compactos, sino en viviendas aisladas dispersas en la región. Esta primera fundación de San Agustín fue destruida por indios Andakies, complementando esta información con el siguiente dato: “Que a los ataques de los mencionados indios se sumó una epidemia de viruela, todo lo cual diezmó notablemente la población. Los pocos nativos que quedaron fueron mandados al sitio del Naranjal cercano a Timaná, por Fray Francisco Romero, de la orden de San Agustín” (Agustín, 2009).

3.4.2. SEGUNDA FUNDACIÓN DE SAN AGUSTÍN

La segunda fundación de San Agustín se inicia con la donación que de estas tierras hace el doctor de Valderrama al señor Alejandro Astudillo y familia originarios de Almaguer (Agustín, 2009).

Esta donación se constituye en el inicio de un largo pleito por las tierras de San Agustín entre el doctor Mauricio de Valderrama y los indios venidos de Almaguer, puesto que un año antes de 1751 los indios habían pedido al rey directamente la adjudicación de dichas tierras, lo cual disgustó profundamente al doctor de Valderrama quien declara en sus memorias que había

donado un pedazo de tierra únicamente a Alejo Astudillo y su familia sin que esto fuera a perjudicarlo, pero en vista de que el mencionado señor quería traer más gente para poblar la zona, el se retracta de lo dicho y decide no donar tierra alguna al señor Astudillo (Agustín, 2009).

El 20 de julio de 1771 el obispo de Popayán ordena sean arrojados los indios de la zona agustiniana y sea quemada la iglesia una vez desocupado el lugar, al igual que la destrucción de las chozas. De esta manera queda destruido por segunda vez el pueblo de San Agustín el cual llevaba más de cincuenta años de existencia (Agustín, 2009).

Figura 8. San Agustín año 1771



Fuente Alcaldía de San Agustín

3.4.3. TERCERA FUNDACIÓN DEL PUEBLO

La visita del doctor Lucas Erazo y Mendigaña abogado de la Real Audiencia del Nuevo Reino de Granada; a San Agustín en el año de 1790, constituye un punto a favor de los indios ya que el mencionado señor manifiesta en su informe que los indios durante más de diez años han sido asistidos espiritualmente por el doctor Fernando de la Vega, obispado de Popayán, quien los visita cada año para administrarles los sacramentos religiosos. Por tanto, a él le parece justo que esta comunidad sea erguida como pueblo, ya que a pesar de todos los obstáculos puestos por el doctor Valderrama y por la violencia de don Jerónimo de Torres su perseverancia no tuvo límites (Agustín, 2009).

Es así como el 20 de noviembre se dictó en Santa Fe de Bogotá el decreto que ordenaba la erección de San Agustín en pueblo, dándose paso a un libre asentamiento en el poblado de los indígenas anteriormente expulsado, y que regresarán, tanto como a otros vecinos. El 4 de septiembre de 1792 se nombró a don Cristóbal de Cuellar como teniente corregidor. El 10 de junio de 1794 fue designado como cura interino del poblado el doctor Jacinto Victoria. Se mantiene entonces un dinámico poblamiento en la zona, en el siguiente registro de documentos se sitúa en el año 1825 en el cual San Agustín empieza a figurar como aldea, perteneciente a la jurisdicción de Timaná, en 1888 como corregimiento de Pitalito, hasta que finalmente en 1926 por ordenanza número 24 de 8 de abril, fue erigido como municipio del departamento del Huila (Agustín, 2009).

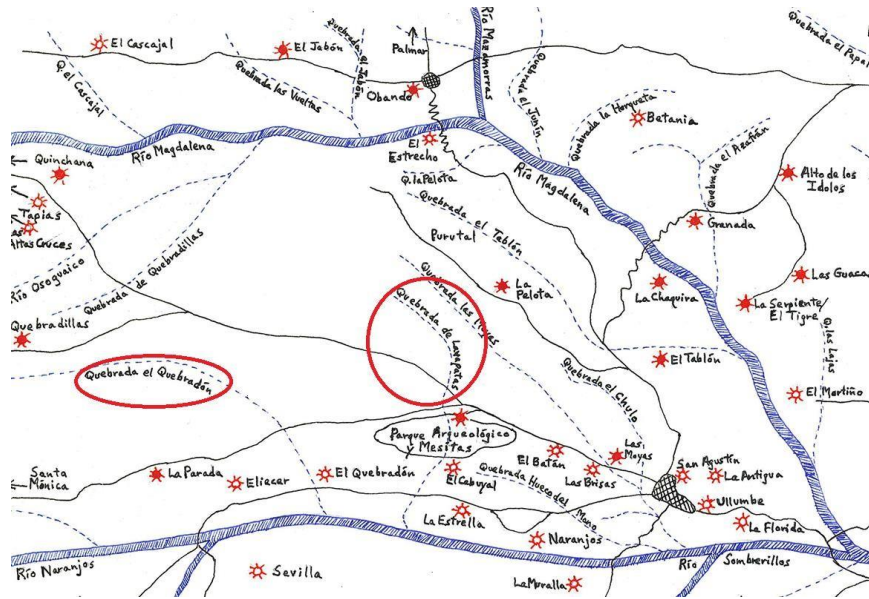
Actualmente, el municipio de San Agustín cuenta con 32000 habitantes, distribuidos en 1316 km². Estos habitantes de San Agustín han logrado la adecuada conservación de las reliquias arqueológicas que allí se encuentran, a la vez han conseguido buenas vías de comunicación, hoteles de turismo, hospital, establecimientos de enseñanza primaria, alumbrado eléctrico, parques y otras comodidades de la vía moderna. (Preuss, 2020).

3.5. MICROCUENCAS HIDROGRAFICAS QUEBRADÓN Y EL LAVAPATAS

La microcuenca quebrada “El Quebradón”, ubicada en el municipio de San Agustín (Huila), es de gran importancia para la población ribereña de la vereda Mesita y la Estrella, ya que se abastecen de ella. La quebrada el Quebradón con un área total de la Microcuenca de 1205 hectáreas, es la fuente hídrica, de donde se surte el acueducto Municipal a 1.800 usuarios del área urbana aproximadamente, suministra al sistema entre 37 y 40 Litros por segundo que en condiciones normales resultan suficientes para el consumo de la población.

También surte el acueducto veredal de La Estrella desde el año 1970 con 25 socios, distribuyendo a 75 familias en un comienzo, con un volumen de 4 purgadas y en la actualidad cuenta con 430 usuarios que se abastece dicha quebrada.

Figura 9. Principales fuentes hídrica de la zona de investigación



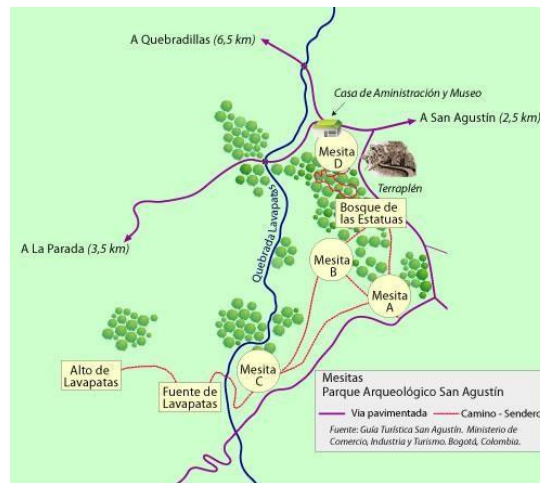
Fuente: La Biblioteca en Piedra

La Quebrada El Quebradón nace en la vereda La Candela y después de aproximadamente 10,875 Km. de recorrido vierte sus aguas al río Naranjos en la vereda Mesitas a la altura de 1550 msnm, y este a su vez desemboca en el río Magdalena. La Microcuenca de la Quebrada posee como afluentes principales La Quebrada El Pescado, y los Zanjonés Males y El Chorro, asimismo se destacan otros contribuyentes de no menos importancia, aunque de más corto recorrido en la parte alta de la Microcuenca.

La fuente del Lavapatás es dentro de la antropología simbólica una obra de gran importancia por su contexto y extensión así mismo por la elaboración de las diferentes figuras y espacios que se labraron directamente en el lecho sobre la roca de la quebrada evidenciando el nivel ingeniería alcanzada por los escultores agustinianos. Fue descubierto en el año de 1937 por Pérez de Barradas y Gregorio Hernández de Alba y hace parte de los sitios arqueológicos integrados en el sector de Mesitas (Villalba Corredor & Malagón, 2011). En este sitio la cultura agustiniana le rinde culto a las deidades del agua a través de tres estanques con representaciones de reptiles y serpientes hombres anfibios como seres de tierra y agua -capacidad que es dada los chamanes e imágenes antropomorfas que representan el nacimiento (partos) o rituales de

limpieza. En el sendero hacia la fuente se encuentra una talla en piedra de una rana símbolo de la fertilidad asociada también con la abundancia del agua.

Figura 10. Fuente de Lavapatas, Parque Arqueológico San Agustín



Fuente. <https://pueblosoriginarios.com/>

3.6. COMPONENTES DEL PAISAJE

Esta investigación parte de una Sostenimiento Ambiental la cual, como medio para entender y comprender la realidad, permite analizar la inquietud humana sobre los asuntos ambientales junto a su interés por implementar nuevos esquemas de pensamiento que permiten reconocer la complejidad y la interdisciplinariedad a través de modelos matemáticos sobre fenómenos sociales y climáticos que afectan en el entorno del parque Arqueológico de San Agustín y la necesidad de minimizar el impacto ambiental de las actividades turísticas.

3.6.1. EL CLIMA

El comportamiento climático de la zona es muy variado, lo más característico del clima de la región es su tendencia húmeda con una relativa alta variabilidad de las lluvias. El clima del territorio es muy diverso, la temperatura varía de acuerdo con la altitud y el relieve de cada lugar, alterada por los vientos y las lluvias. En el valle del río Magdalena, el régimen de lluvias es

bimodal con máximas en marzo y noviembre; las menores precipitaciones se presentan en enero y agosto. (Angel Oviedo, 2015).

En la región se presentan patrones climáticos característicos de las regiones andina sur, este comportamiento genera una gran diversidad climática y agroclimática, que sugiere un manejo adecuado con el fin de aprovechar al máximo el potencial de la zona (Olaya Amaya & Sanchez Ramírez, 2005), para la dinámica de los suelos, desarrollo de la vegetación, actividades agrícolas y actividades culturales. Los elementos que intervienen para definir el clima son varios: temperatura, precipitación, vientos, altura, a partir de los cuales se determinan las características de una región y se pueden establecer diferentes sistemas de clasificación. Para el caso que nos ocupa, el área de estudio de los municipios de San Agustín, tiene tres climas definidos (Uribe Mendoza & Castro Borràs, Plan de Manejo Arqueológico, 2014 - 2018):

- Clima frío y muy húmedo: Se presenta sobre una franja altitudinal a partir de los 2000 m.s.n.m. hasta llegar a los 3000, con temperaturas medias diarias de 12 a 18°C, una precipitación promedio anual de 2000 a 4000 mm.
- Clima medio húmedo, transicional al clima frío húmedo: Se presenta en altitudes que oscilan entre los 1500 y 2200 m.s.n.m., con temperaturas medias que varían entre los 14°C y los 20°C, tiene un promedio anual de precipitación entre 2000 a 3000 mm de lluvia.
- Clima Medio y Muy Húmedo: este clima se presenta en la zona de las cuencas de la Quebrada Matanzas, Río Granadillo, Los Naranjos y Río Osoguaico. Se encuentra en áreas en la franja longitudinal de los 1000 a los 2000 m.s.n.m., con temperaturas diarias que varían entre los 18°C y los 24°C.

3.6.2. COBERTURA VEGETAL

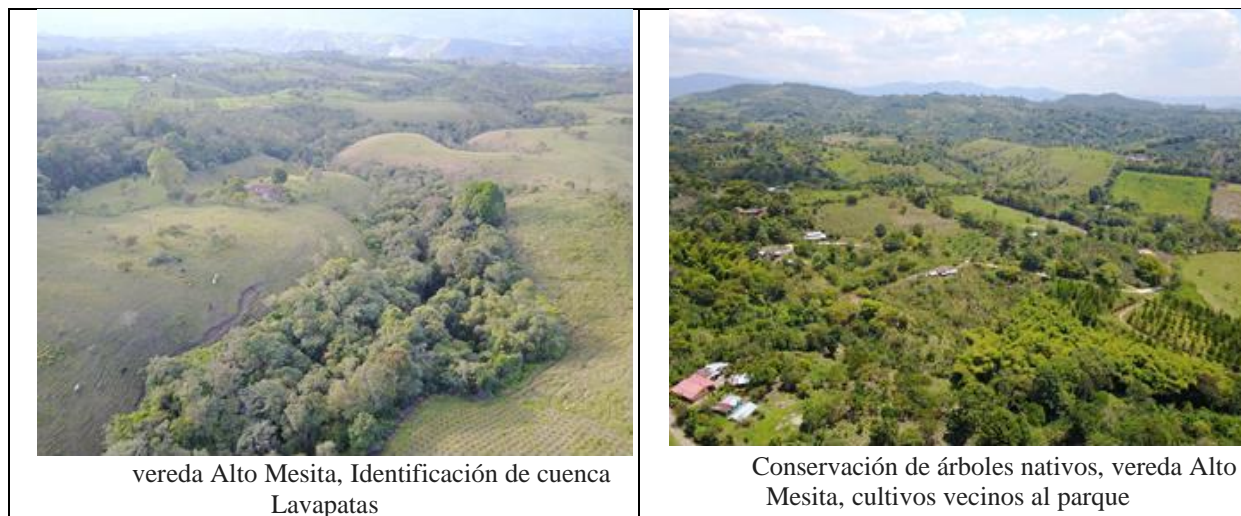
Las características de la vegetación están relacionadas muy estrechamente con la fisiografía, el suelo, el clima y la transformación causada por la actividad antrópica, como elemento vital para conservar los bosques es de garantizar la protección y conservación de recurso hídrico.

Según la Corporación del Alto Magdalena, el bosque nativo que se presenta en el área de estudio de la microcuenca el Quebradón y Lavapatás se destacan los siguientes arboles: Nacedero, Yarumo, Encenillo, Roble, Platanillo, Cedro, Caucho, Arrayán blanco, Cámbulo, Duraznillo, Guásimo y Guadua.

El trabajo de campo autorizado por el ICANH permitió tomar fotografías con el dron con el propósito de tener imágenes cercanas de cobertura vegetal dentro del parque y sus alrededores y se obtuvieron las siguientes imágenes, como registros de la cobertura vegetal en la que se encuentra el parque y sus alrededores.

Figura 11. Fotografías Conservación actual del Paisaje





Fuente Autor

Estos sectores esenciales pueden contribuir a mejorar la calidad de sus habitantes y encontrar mejores expectativas de futuro, incentivar a los habitantes en conservar los bosques nativos de sus predios, de no contaminar más sus fuentes hídricas, en especial la fuente de Lavapatás, que hoy en día algunas familias vierten sus aguas negras sin ser tratadas. hay que pensar en que el municipio debe proteger los recursos naturales, conservar especies forestales nativas y controlar la expansión agrícola. Es preocupante que haya zonas en la ronda de las fuentes hídricas como es el Quebradón y Lavapatás que se estén cultivando, deteriorando la estabilidad de las riberas y afectando la imagen visual, como ejemplo lo que se aprecia desde el Alto del Lavapatás.

Las entidades públicas y privadas, incluyendo la población, debe promover prácticas de corresponsabilidad ambiental dentro y su entorno al parque Arqueológico, enmarcadas con el compromiso de acompañar a los habitantes que viven alrededor.

3.6.3. ESTADO DEL BOSQUE

En cuanto al aspecto a la conservación del bosque, afectado por el consumo de leña para las actividades de las familias que habitan en este entorno y que también afecta al patrimonio arqueológico, lo que se evidencia en la siguiente fotografía tomada en las fronteras del parque; además en la información documental de parte del ICANH y en la oficina de la alcaldía de San

Agustín denominada desarrollo agropecuario y medio ambiente, DAMA, se encuentra pocos registros que favorezcan la sensibilización a la protección, mitigación y conservación del bosque.

Figura 12. Fotografía Conservación del bosque alto de Lavapatas



Fuente Autor

De un taller que se realizó con la comunidad de la vereda Mesitas para limpiar la fuente hídrica Lavapatas, a través de la campaña nominada ‘Vida a la quebrada’, apoyado por la corporación financiera Contactar, entidad privada que opera en el municipio de San Agustín. Participaron también profesionales de GDSA de la zona, algunas instituciones públicas y 25 familias rurales de la vereda Mesitas. Esta actividad se realizó con el propósito de contribuir al mejoramiento de las condiciones ambientales de la quebrada Lavapatas, a través de la recolección de desechos y la siembra de 140 árboles de las especies gualanday y nacederos.

Como parte del compromiso social y ambiental de la actividad anterior, y en aras de lograr un mayor impacto, durante la jornada se replicaron las actividades de limpieza y reforestación sobre las vías cercanas, a través de la siembra de nogales; árboles de gran tamaño, que además de contribuir en la regulación de los efectos del cambio climático, producir oxígeno y purificar el aire, también tienen buena utilidad para dar sombra a los habitantes de la zona que suelen transitar por estas vías caminando o en vehículos de tracción animal.

3.6.4. TURISMO CULTURAL Y ECOTURISMO

El turismo a nivel del municipio de San Agustín está centrado en el Parque Arqueológico, es uno de los lugares turísticos más visitados en el departamento del Huila, Colombia y de Extranjeros, ya que cuenta con vestigios arqueológicos milenarios y es de fácil el acceso para visitarlo. Para tener datos de visitantes el ICANH, nos proporcionó a este proyecto los datos contenidos en las siguientes tablas:

Tabla 1. Registro de visitantes periodo 2018 al 2020

PARQUE	San Agustín 2018		
MES	EXT.	COL.	TOTAL
Enero	3938	33833	37771
Febrero	5346	4086	9432
Marzo	4064	9764	13828
Abril	2027	5677	7704
Mayo	1497	6351	7848
Junio	1406	11088	12494
Julio	1539	8499	10038
Agosto	2258	5481	7739
Septiembre	1131	3094	4225
Octubre	1034	6351	7385
Noviembre	1877	6218	8095
Diciembre			
Total año	26117	100442	126559

PARQUE	San Agustín 2019		
MES	EXT.	COL.	TOTAL
Enero	2174	16341	18515
Febrero	2892	2696	5588
Marzo	1962	2330	4292
Abril	781	9456	10237
Mayo	705	3241	3946
Junio	654	6560	7214
Julio	1648	6212	7860
Agosto	1940	4637	6577
Septiembre	1007	3241	4248
Octubre	881	5776	6657
Noviembre	1685	5481	7166
Diciembre	1282	5481	6763
Total año	17611	71452	89063

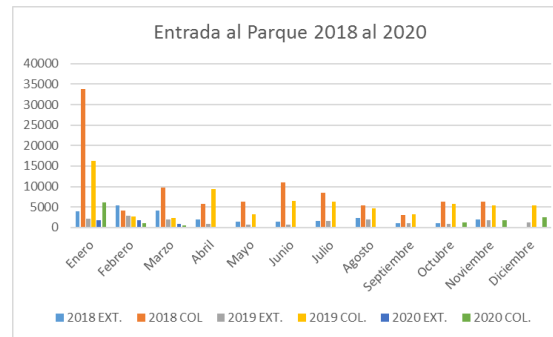
PARQUE	San Agustín 2020		
MES	EXT.	COL.	TOTAL
Enero	1815	6115	7930
Febrero	1828	1089	2917
Marzo	872	444	1316
Abril	0	0	0
Mayo	0	0	0
Junio	0	0	0
Julio	0	0	0
Agosto	0	0	0
Septiembre	0	0	0
Octubre	50	1259	1309
Noviembre	30	1781	1811
Diciembre	98	2476	2574
Total año	4693	13164	17857

PARQUE	San Agustín					
	2018		2019		2020	
MES	EXT.	COL.	EXT.	COL.	EXT.	COL.
Enero	3938	33833	2174	16341	1815	6115
Febrero	5346	4086	2892	2696	1828	1089
Marzo	4064	9764	1962	2330	872	444
Abril	2027	5677	781	9456	0	0
Mayo	1497	6351	705	3241	0	0
Junio	1406	11088	654	6560	0	0
Julio	1539	8499	1648	6212	0	0
Agosto	2258	5481	1940	4637	0	0
Septiembre	1131	3094	1007	3241	0	0
Octubre	1034	6351	881	5776	50	1259
Noviembre	1877	6218	1685	5481	30	1781
Diciembre			1282	5481	98	2476
Total año	26117	100442	17611	71452	4693	13164

Fuente: Registro del ICANH

En las siguientes graficas visualizamos los cambios que ha tenido los cambios los flujos turísticos al parque destacando el año de la pandemia 2020.

Figura 13. Registro de visitantes periodo 2018 al 2020



Se observa un flujo constante excepto en el año 2020 que fue afectado por la pandemia, con un número promedio de visitantes tanto extranjeros y colombianos fue de 77.827 por los 3 años.

De esta manera se puede hablar que en el municipio de San Agustín su principal atractivo turístico es el Parque Arqueológico y sus áreas están previamente delimitadas como sitio arqueológico por contener elementos útiles para la investigación en este ámbito y para el fortalecimiento del patrimonio cultural. (Tovar Ospina, 2018).

El paisaje entorno al parque arqueológico de San Agustín es ahora unos de los sitios más apetecidos por los visitantes nacionales y extranjeros que llegan a San Agustín, es por eso que algunos propietarios de fincas vecinas al parque transforman sus fincas agropecuarias en fincas campestre o ecoturísticas, ofreciendo actividades como: senderos ecológicos, de aventura, avistamiento de aves y otros. Los usuarios conocen estos servicios a través de las redes sociales.

En armonía con los bosques, fuentes hídricas y senderos en las veredas Mesitas, La Estrella y Nueva Zelanda ubicadas en el entorno al parque Arqueológico de San Agustín existe un circuito de aproximadamente de veintiséis opciones de hospedaje turístico el cual se destaca en dos tipos: hotel y hospedaje rural.

El turismo se ha convertido en un soporte importante del desarrollo social y económico para San Agustín, sin embargo, hay que pensar en el futuro de este municipio sin que pierda lo paisajístico, ambiental y agrícola.

3.6.5. IMPACTOS DEL TURISMO SOBRE LA IDENTIDAD CULTURAL

Algunos Impactos turísticos en lo positivo como (reactivación y desarrollo de tradiciones locales: artesanía, ritos festivos, celebraciones religiosas, gastronomía y folklore; Fortalecimiento del patrimonio histórico, la identidad cultural y la estima colectiva que potencian el atractivo turístico del destino; enriquecimiento del intercambio intercultural entre visitantes y residentes, gracias a experiencias basadas en el respeto mutuo, la tolerancia y la comprensión.) y negativos como (el deterioro de sitios históricos y monumentos arqueológicos por el tráfico peatonal y la polución vehicular, Saturación y deterioro de algunos destinos turísticos, debido a la poca diversificación de la oferta nacional, regional o local, desplazamiento de las comunidades nativas o de la población residente de su hábitat originario, debido a la expropiación o a la venta de sus tierras, bajo presiones de autoridades locales o nacionales, a favor de promotores inmobiliarios y Choques culturales y comportamientos de rechazo de los residentes hacia los turistas foráneos que han creado guetos, con poca disposición a integrarse en la sociedad local) (Tovar Ospina, 2018).

El Parque arqueológico de San Agustín reúne las condiciones necesarias para constituirse en un destino turístico, especialmente por su valor cultural. Adicionalmente, dicha actividad turística como ha podido identificarse puede generar impactos de toda naturaleza (ambiental, sociocultural, económica, etc.); sin embargo, un estudio realizado por (Tovar Ospina, 2018) se orienta en el factor sociocultural de las comunidades indígenas pues concibe que la inmersión en las prácticas ajenas a su cultura puede ocasionar su extinción y pérdida de conocimiento de sus valores culturales de los AYACONAS, como las costumbres de estilo de vida, tipo de viviendas y actividades económicas propias de su cultura.

CAPITULO 4. METODOLOGÍA

La metodología empleada en el presente trabajo de investigación es el método correlacional descriptivo no experimental, como un sistema Socio-Ecológico, que consiste en la recopilación, identificación y selección de datos, descripción y modelización de las

interrelaciones dinámicas entre la variabilidad climática y la evolución del paisaje que sustenta el parque y nexos con las actividades socioeconómicas que ocurren en su entorno cercano.

4.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL ESTUDIO

La investigación se realizó en el entorno próximo al parque arqueológico de San Agustín que cuenta con un área total de 78,19 hectáreas, con una altura promedio de 1800 msnm, una temperatura promedio de 20°C y una precipitación anual promedio de 1500 mm. La temperatura en la región depende fuertemente de la altura sobre el nivel del mar y cambia muy poco a lo largo del año. El clima es muy variado y la fauna y la flora, muy diversas, ya que la zona posee un relieve accidentado que resulta en grandes variaciones ecológicas verticales.

Una parte de la población de San Agustín se beneficia directamente del turismo cultural, actividades agrícolas y agro turístico, que aporta también, aun cuando indirectamente, a la economía de toda la región del sur del Huila. San Agustín es conocido como la capital arqueológica de Colombia y fue declarado Patrimonio de la Humanidad por la Unesco en 1995.

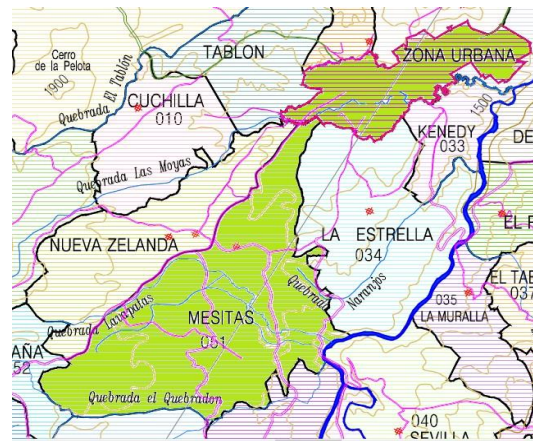
Figura 14. Delimitación del parque



Fuente Google earth

La delimitación geográfica del estudio es el entorno constituido por las veredas Mesitas, La Estrella y Nueva Zelanda, como se ilustra.

Figura 15. Identificación de las veredas Mesitas, La Estrella y Nueva Zelanda. como zona de estudio



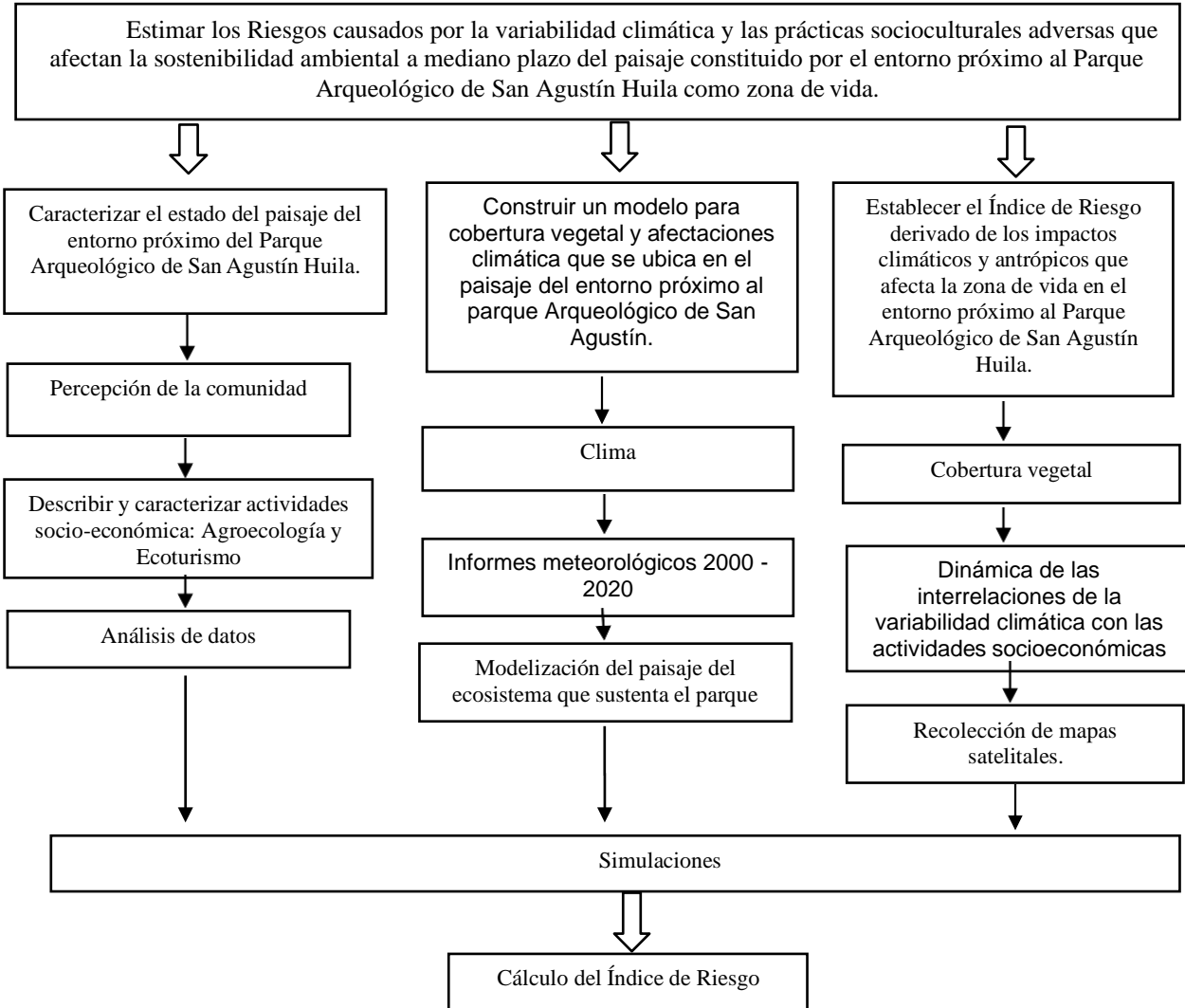
Fuente: POT Municipio de San Agustín

Las veredas vecinas al parque tienen una altura promedio de 1.745 metros de altura sobre el nivel del mar, con un área cultivada de 147,6 Ha. de los cuales 61% del área cultivada en café es con variedades resistentes a la roya, que no usa agroquímicos. Estudios técnicos del comité de cafetero se encuentra existe aproximadamente 174 propietarios de minifundios, de los cuales 58 son mujeres y 116 hombres. Edad promedio de los cafeteros de la vereda 57,9 años. (planeación municipal).

El sistema hídrico de la vereda Mesitas está constituido por la quebrada denominada el *Quebradón* que pasa por la finca del Comité de Cafeteros y aporta a la planta de tratamiento del sector urbano la más de la mitad de agua al Distrito urbano Centro de San Agustín, dicha quebrada también alimenta el acueducto veredal. Otras fuentes son la quebrada *Lavapatas* que da el nombre a un sector del Parque Arqueológico y la quebrada el *Chulo*, esta última es contaminada por lixiviados del café y por desechos.

Por tales motivos el proceso de la investigación se sintetiza en la siguiente figura:

Figura 16. Diagrama Metodológico



4.2. FASES DEL PROYECTO

A partir de salida de campo se identifican las variables del problema, se recopilan y seleccionan datos a partir de entrevistas habitantes, productores agropecuarios, operadores de turismo, comunidades nativas y sus organizaciones comunitaria; encuestas, y consultas

documentales, esto para modelizar y simular las interrelaciones dinámicas existentes entre la variabilidad climática y la evolución del paisaje que sustenta el parque y nexos con las actividades socioeconómicas que ocurren en su entorno cercano. Para completar el diagnóstico y la visión de los actores sociales se hicieron 40 entrevistas, También se realizaron recorridos del parque y las veredas, para identificar el entorno y vecinos del parque, observar las condiciones de vida de la población y conocer de cerca algunas fincas y sus propietarios.

Para la construcción del árbol de decisión del problema de investigación, se debe comenzar por determinar cuáles son las variables de entrada de salida, y su categorización. Para solucionar este interrogante los datos de las variables de entrada se someten a un examen estadístico y modelización dinámica que conduzcan en la salida caracterización del estado de las variables dependientes.

A partir de los datos de la temperatura y precipitación del IDEAM, plan de manejo del ICANH, conocimiento y evolución de los estados de la cobertura del suelo de que dispone la vereda Mesitas, La Estrella y Nueva Zelanda del Municipio de San Agustín y estudios sobre el estado de desarrollo socio-económico del entorno cercano, incluyendo parque Arqueológico como zona restringida que corresponde a un patrimonio cultural, se modelizan dinámicamente las interacciones sus dinámicas y se identifica a mediano plazo, los patrones de sostenibilidad de este territorio de vida.

Como última etapa de este proceso y siguiendo la metodología propuesta por el IPCC 2014, para estimar el índice de vulnerabilidad actual y la simulación dinámica de los escenarios posibles, según se adopten conductas que favorezcan o desfavorezcan la ruta hacia la sostenibilidad ambiental.

CAPÍTULO 5. PERCEPCIÓN DE LOS HABITANTES SOBRE ESTADO EL PAISAJE

Objetivo específico 1. Caracterizar el estado del paisaje del entorno próximo del Parque Arqueológico de San Agustín Huila.

Los habitantes de las veredas Mesitas, La Estrella y Nueva Zelanda de San Agustín, en opinión de los técnicos de la Federación Nacional de Cafeteros de dicho municipio, han logrado en los últimos años una mejor calidad de vida. Los habitantes actuales en su mayoría son descendientes de emigraciones que provienen del Cauca y Nariño, y se destaca la existencia del resguardo indígena Yanaconas.

En un estudio técnico del mismo Comité Cafetero se informa que actualmente esta zona es un 50% agro-turística o hotelera y se espera que en cinco años que la región será exclusivamente agro turística. Esta condición es motivada por las cercanías del Parque Arqueológico de San Agustín, así como por la presencia de turistas extranjeros quienes han adquirido una buena cantidad de área para construir sus cabañas de veraneo. Estos hechos hacen que el costo de la tierra en esta zona sea muy alto, Plan de desarrollo 2019 – 2022 del municipio de San Agustín.

En el mismo informe técnico de Comité Municipal de Cafeteros se registra los siguientes programas que han beneficiado a la comunidad cafetera de esta zona:

Programa *Ecomil*, instalación de equipo técnico básico cuyo fin es promover entre los cafeteros el mínimo uso del agua por arroba de café seco, lisiados cero, depósito de pulpa y fresa en pozos.

Sistemas Modulares de tanques para el uso de las aguas servidas, para que estas regresen a las fuentes hídricas con una carga menor de desechos.

Este Comité con el grupo Asociativo la *Amistad*, que tiene 20 años de gestión en la zona, ha adelantado programas como construir beneficiaderos para el proceso del café.

En reunión de la Junta Comunal de estas veredas mencionadas arriba se reconoce que, dada la predominancia de pequeños caficultores, sólo las fincas de más de 5 hectáreas pueden disponer de un cuarto de hectárea para reforestación; se resalta que el bosque nativo de esta zona es dominado por arborizaciones de Guamo Santaferoño y Guadua según la Corporación del Alto Magdalena, CAM, sobre árboles nativos de la región.

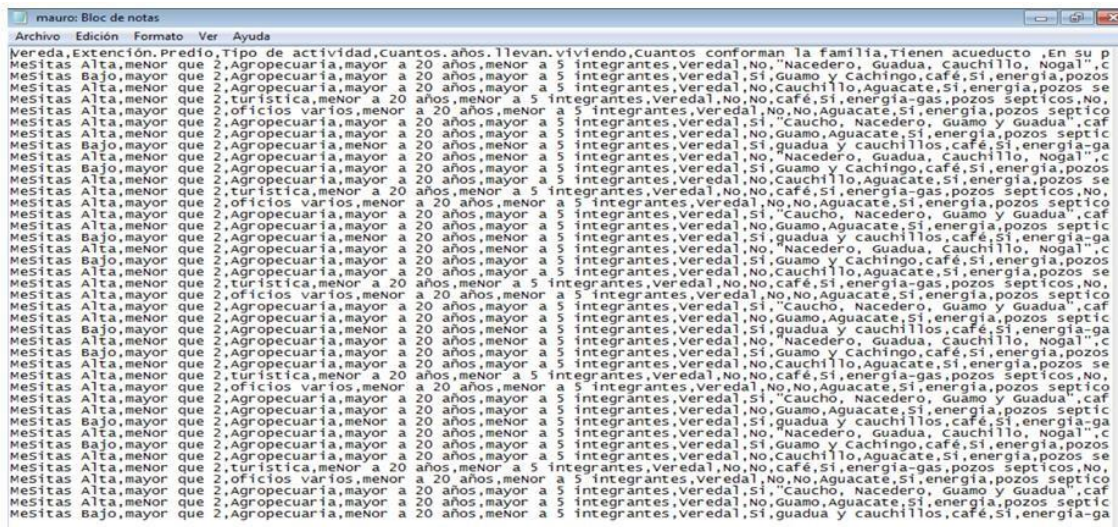
Los habitantes cercanos al parque reconocen que existe un conflicto con los administradores de dicho parque, debido al consumo de leña para el consumo de los hogares y a las quemas frecuentes. Esta afectación se ha mitigado en los últimos años con la puesta en marcha de un proyecto financiado por la Gobernación del Huila y La CAM para dotar a los hogares del sector de hornillas ecológicas.

Para completar la percepción que tiene los habitantes de esta zona se aplicó una encuesta a 40 propietarios escogidos entre las 174 familias mencionadas por la Juntas de Acción Comunal que habitan en las veredas Mesitas, La Estrella y Nueva Zelanda. Con los resultados de estas encuestas se construye el *árbol de decisión* de este problema, el cual se describe a continuación.

5.1. ARBOL DE DECISIÓN

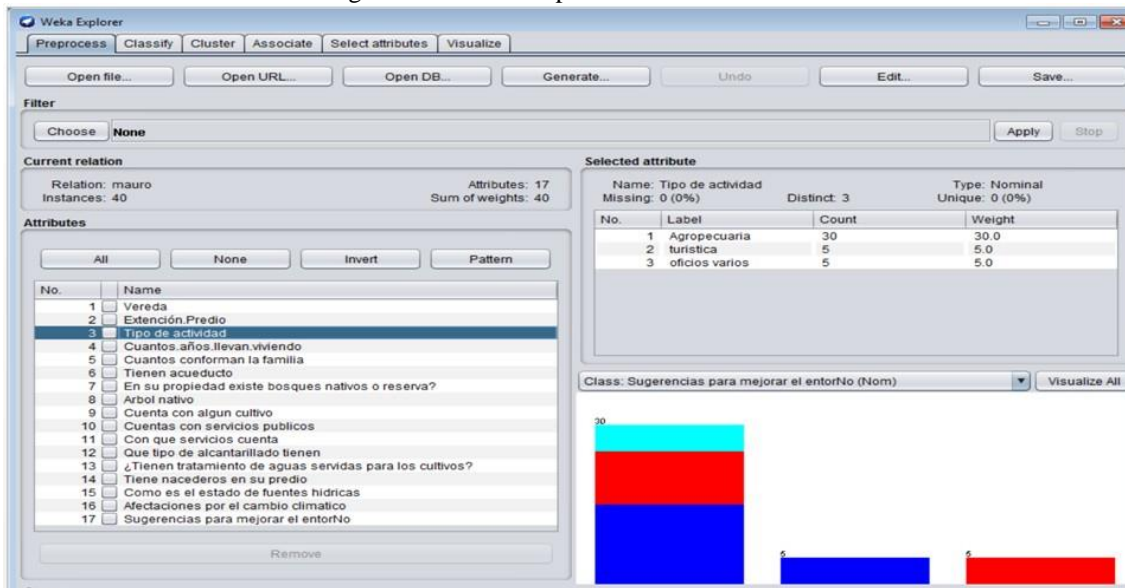
El árbol de decisión se construye maximizando el valor esperado en la categorización de las variables dependientes e independientes del problema. Este árbol se construye categorizando variables con las reglas “*Si-Entonces*”, particularmente se usa herramienta de minería de datos, en este caso mediante una encuesta hemos escogido el software WEKA para obtener un árbol de decisión para el problema de la sostenibilidad ambiental del paisaje que está en el entorno del Parque Arqueológico de San Agustín (Huila). En figura 17 se despliega la siguiente información:

Figura 17. Patrones de la encuesta



Se aplicó un sistema experto para el análisis de los datos, para este caso

Figura 18. Variable tipo de actividad económica



Los resultados a cada una de las diez y siete preguntas de la encuesta, se sintetizan en esta

Figura:

Figura 19. Visualización simultánea de todas las variables

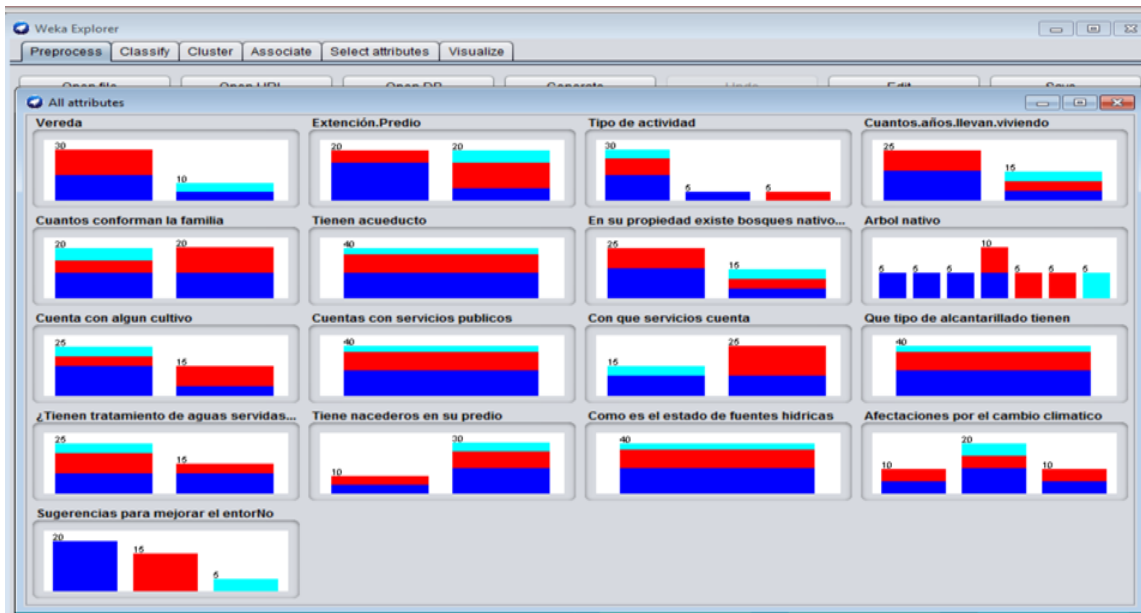
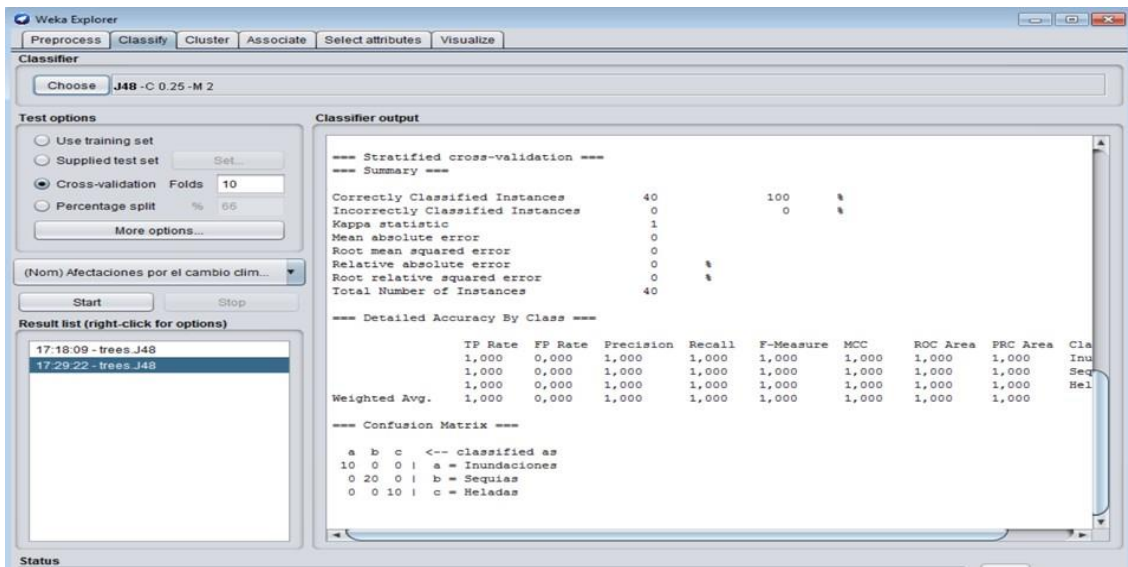


Figura 20. Validación cruzada de la parte 1 del árbol



Lo que se resumen en la siguiente figura.

Figura 21. Resumen del árbol

```

J48 pruned tree
-----
Tiene nacederos en su predio = Si: Inundaciones (10.0)
Tiene nacederos en su predio = No
|   Extensión.Predio = menor que 2
|   |   Tipo de actividad = Agropecuaria: Heladas (10.0)
|   |   Tipo de actividad = turistica: Sequias (5.0)
|   |   Tipo de actividad = oficios varios: Heladas (0.0)
|   |   Extensión.Predio = mayor que 2: Sequias (15.0)

Number of Leaves   :    5
Size of the tree   :    8
    
```

WEKA también nos proporciona la matriz de confusión en la figura 22 la cual nos permite la visualización del desempeño del algoritmo, que se encarga de mostrar las diagonales que tanto porcentaje de error o confiabilidad se puede tener en el resultado. Cada columna de la matriz representa el número de predicciones de cada clase, y las filas representan las instancias en la clase real.

Figura 22. Matriz de confusión de árbol de decisión con el algoritmo J48 obtenido de WEKA

```

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  <-- classified as
10  0  0 | a = Inundaciones
 0 20  0 | b = Sequias
 0  0 10 | c = Heladas
    
```

Análisis de la matriz de confusión:

Predice que 10 predios sufren de inundación, 20 predios tienen problemas de sequias y 10 predios sufre problemas de Heladas.

Figura 23. Visualización del árbol parte 2

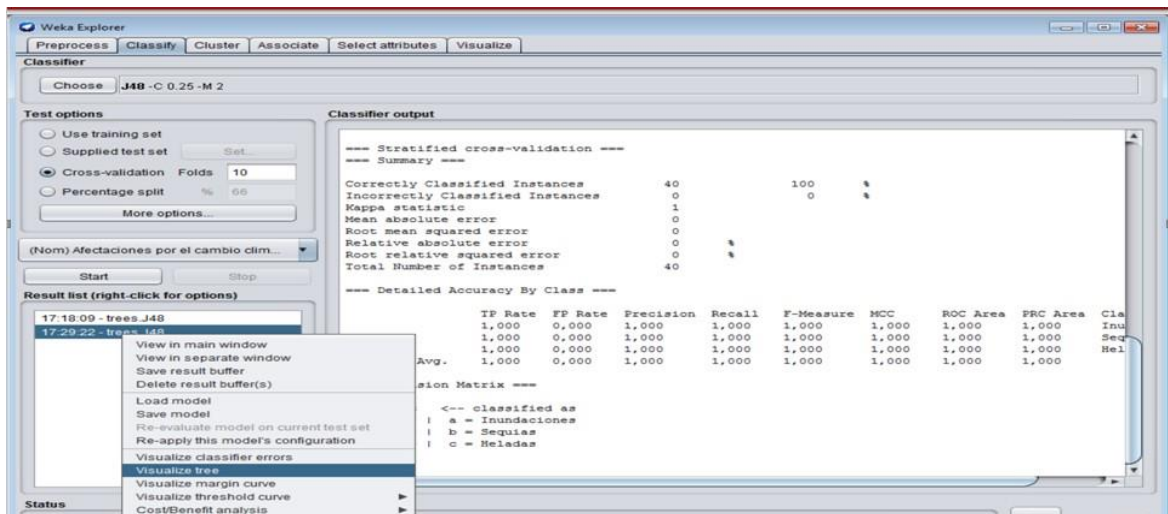
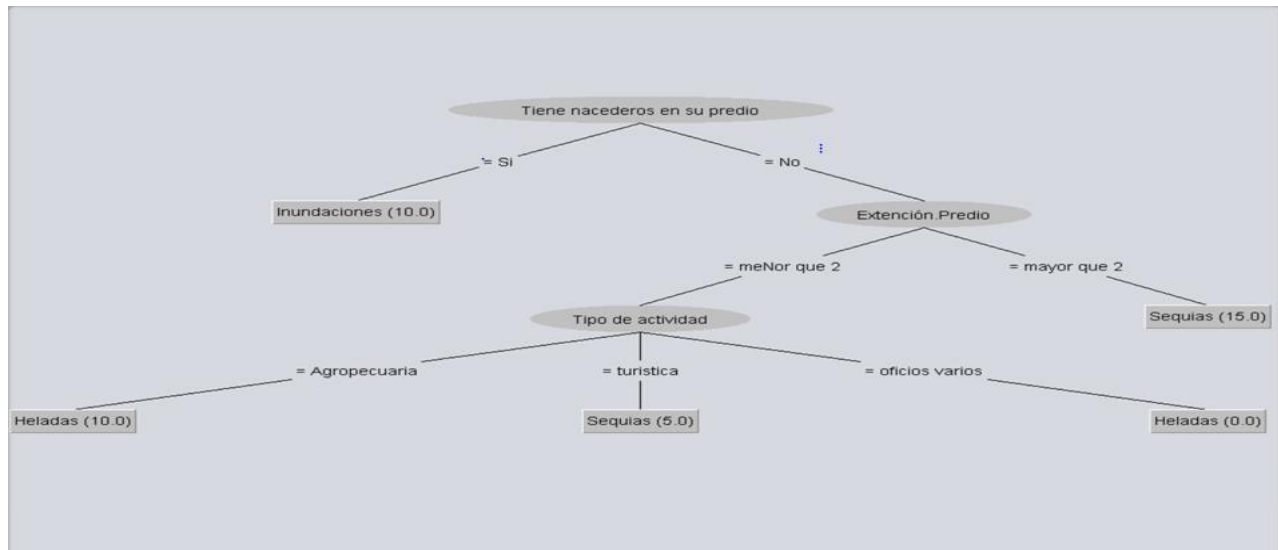


Figura 24. Árbol de decisión usando el algoritmo J48 obtenido de WEKA



WEKA nos arroja los siguientes resultados, el cual generara un recuadro con el resumen del árbol generado, con respecto a las opiniones de los encuestados dice:

- Si una persona tiene nacederos en su predio entonces tiene problemas de Inundaciones en sus cultivos.
- Si no tiene nacederos en su predio, entonces para conocer las afectaciones de vulnerabilidad climática, dependerá de la Extensión del predio.
- Si la Extensión del predio es menor a 2 HA, Entonces dependerá del tipo de actividad a la que se dedican.
- Si la actividad es agropecuaria tendrán problemas de heladas.
- Si una persona tiene nacederos en su predio entonces tiene problemas de Inundaciones en sus cultivos dependerá de la extensión del predio.
- Si la extensión de predio es mayor a 2HA, entonces tendrá problema de Sequias en sus cultivos.

Se observa que el sistema experto categorizó como variable de salida la existencia de nacederos en los predios como es natural en los problemas de sostenibilidad de este tipo de paisajes.

5.2. CRITERIO PARA LOS NIVELES DEL ÁRBOL DE DECISIÓN

La construcción de los árboles de decisión comienza con la pregunta: ¿Qué variable de entrada debe ser la raíz del árbol? Para contestar esta inquietud, cada variable de entrada es evaluada usando un examen estadístico para determinar qué tan bien esta variable clasifica los patrones de entrenamiento, por medio de la entropía. La entropía es una medida comúnmente usada en la teoría de la información que caracteriza la pureza o impureza de una colección arbitraria de patrones. Dada una colección S , la entropía de S se define como:

$$\text{Entropía}(S) = \sum_{i=1}^c -p_i \log_2(p_i)$$

Ahora se procede a evaluar la entropía promedio de cada una de las variables de entrada y así poder calcular la ganancia de información del sistema con la respectiva variable. La variable de entrada que proporcione la mayor ganancia de información al sistema será el nodo inicial. La categorización se realiza mediante el siguiente proceso:

Primero se calcula la entropía de la información, para ello se calcula la entropía de la variable de salida:

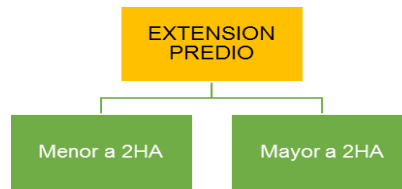
$$E(s) = - \sum_{n=1}^i p_i \log_2(p_i)$$

$$SP1 = - \frac{10}{40} \log_2 \left(\frac{10}{40} \right) - \frac{30}{40} \log_2 \left(\frac{30}{40} \right)$$

$$SP1 = - \frac{1}{4} \log_2 \left(\frac{1}{4} \right) - \frac{3}{4} \log_2 \left(\frac{3}{4} \right) = 0,81$$

Luego procedemos a calcular las entropías de las demás variables. Teniendo en cuenta el árbol generado, procederemos hacer el cálculo de ganancia de la variable extensión del predio.

Figura 25. Extensión de predio



Menor a 2 HA

$$S = -\frac{5}{20} \log_2 \left(\frac{5}{20} \right) - \frac{15}{20} \log_2 \left(\frac{15}{20} \right); \quad S = 0,811$$

Mayor a 2HA

$$S_1 = -\frac{19}{20} \log_2 \left(\frac{20}{20} \right) - \frac{1}{20} \log_2 \left(\frac{1}{20} \right); \quad S = 0,135$$

Luego procedemos a calcular la ganancia del proceso:

$$\text{Menor a 2 HA} = 0,811 * 20 = 16,22$$

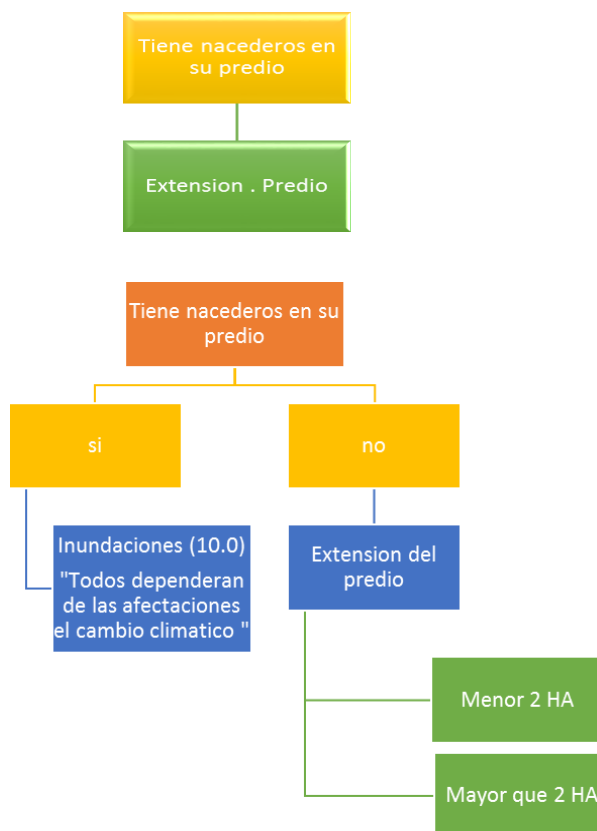
$$\text{Mayor a 2 HA} = 0,135 * 20 = 2,70$$

$$\text{TOTAL} = \frac{18,92}{40} = 0,473$$

$$\text{Ganancia de Información} = 0,81 - 0,473 = 0,337$$

La ganancia de información es una propiedad estadística que mide que tan bien una variable dada separa los patrones de entrenamiento para seleccionar las variables candidatas en cada paso del crecimiento del árbol. Siguiendo la secuencia nuestro árbol se estructura de la siguiente Figura 26.

Figura 26. Árbol de decisión paso a paso



Luego procederemos a ramificar la variable Menor que 2 HA su entropía, refiriendo a la variable afectaciones de la variabilidad climática, su cálculo nos arrojaría 1. Puesto que todos los encuestados, nos dijeron que su predio era mayor a 2H, entonces tendrían problemas de sequía. Siguiendo con nuestro análisis, calcularemos la ganancia de la variable extensión de predio menor que 2 HA, respecto al *tipo de actividad*.

$$S3 = -\frac{14}{20} \log_2\left(\frac{14}{20}\right) - \frac{1}{20} \log_2\left(\frac{1}{20}\right) \text{ AGROPECUARIO}; \quad S3 = 0,516$$

$$S4 = -\frac{4}{20} \log_2\left(\frac{4}{20}\right) - \frac{1}{20} \log_2\left(\frac{1}{20}\right) \text{ TURISTICO}; \quad S4 = 0,6804$$

Procedemos a calcular su ganancia.

$$\text{Agropecuaria} = 0,576 * 15 = 8,64$$

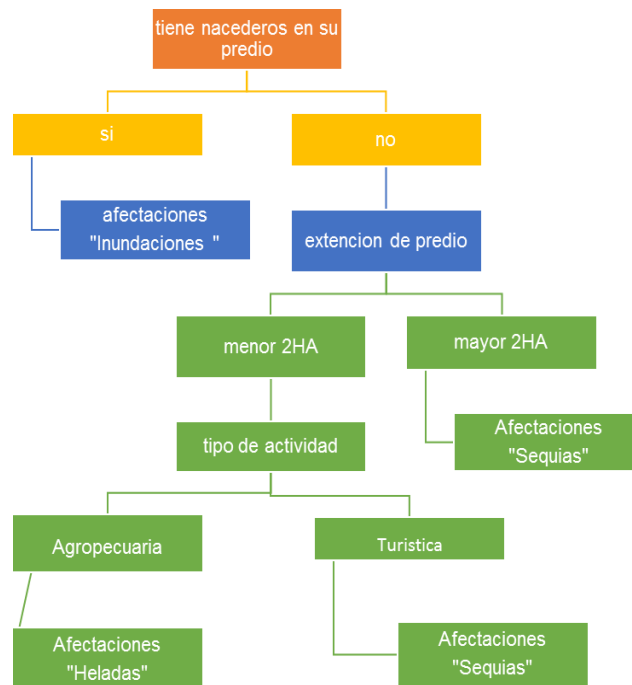
$$\text{Turístico} = 0,6804 * 5 = 3,40$$

$$\text{Total} = \frac{12,04}{40} = 0,301$$

$$\text{Ganancia} = 0,81 - 0,301 = 0,509$$

Resulta el árbol completamente construido se muestra en la figura 27.

Figura 27. Árbol de decisión reconstruida



Primero nos centramos en el estudio de la minería de datos, para analizar las percepciones de la gente y así marcar en detalle los conceptos más importantes de esta metodología para clasificar la información basado en las encuestas como soporte para hallar el índice de Riesgo.

CAPITULO 6. VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Objetivo específico 2. Construir un modelo para cobertura vegetal y afectaciones climática que se ubica en el paisaje del entorno próximo al parque Arqueológico de San Agustín.

A partir de datos climatológicos de los años 2000 y 2020 proporcionados por el IDEAM en la estación Parque Arqueológico, se realizó el siguiente análisis sobre la variabilidad climática afecta la zona de estudio.

6.1. TEMPERATURA

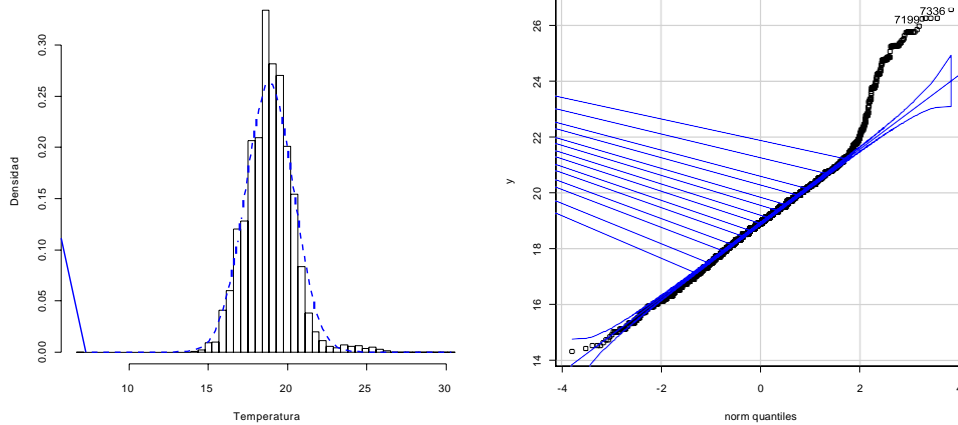
La serie temporal X_t analizar es la temperatura diaria tomada en la estación meteorológica Parque San Agustín del municipio de San Agustín – Huila, manejada por el IDEAM. Los datos tomados están comprendidos desde el 01 de enero del año 2000 hasta 16 de agosto del año 2020, es decir, 7605 datos diarios.

En la Figura 28 se evidencia que los datos no siguen una distribución normal, sin embargo, se realizó una prueba Shapiro –Wills, el cual contrasta

Ho: La serie X_t sigue una distribución normal,

Ha: La serie X_t no sigue una distribución normal,

Figura 28. Normalidad de los datos



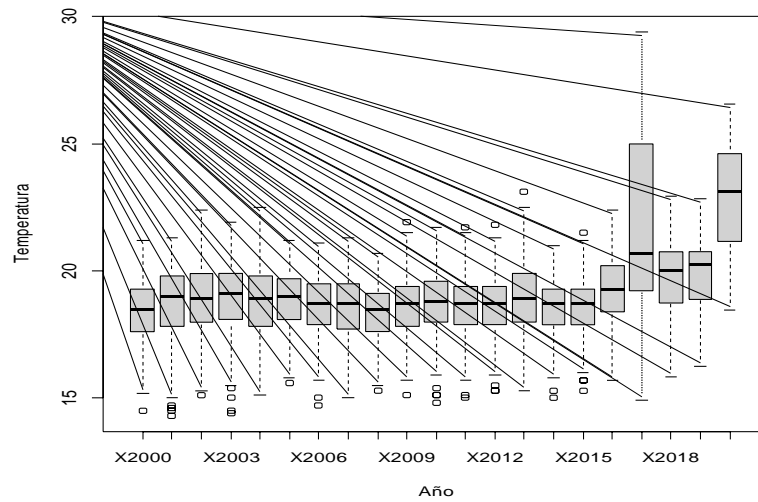
Se concluye que, con un nivel de significancia del 5%, la serie que expresa la temperatura no se comporta estadísticamente como una distribución normal, con una probabilidad de 52.83%.

Por otro lado, como se muestra en la figura 29, la mediana de la temperatura para cada año no varía drásticamente desde el año 2000 hasta el año 2016, presentando varios valores atípicos que expresan las bajas y altas temperaturas fuera de lo normal.

En los cuatros últimos años se ha presentado un incremento significativo en las temperaturas diarias, incluyendo la mediana por año, donde hay que tener en cuenta que el año 2017 se presentó el fenómeno del niño en el cual la temperatura media fue de 19°C.

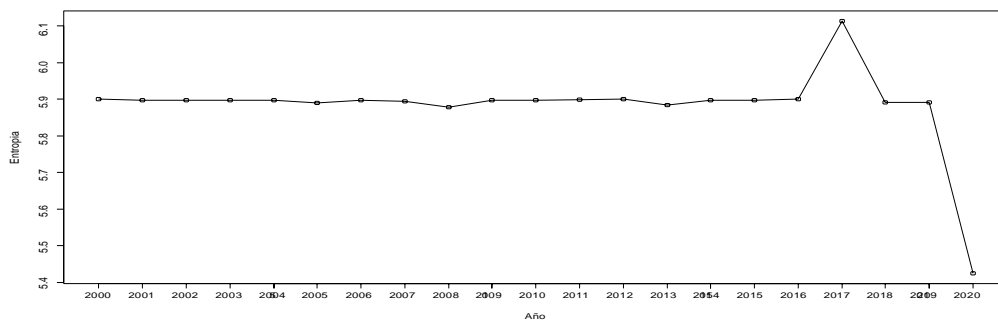
Para confirmar los cambios de temperatura en esos años son realmente significativos, se procede a analizar los valores de entropía para cada año y evidenciar caos.

Figura 29. Diagrama de caja por año



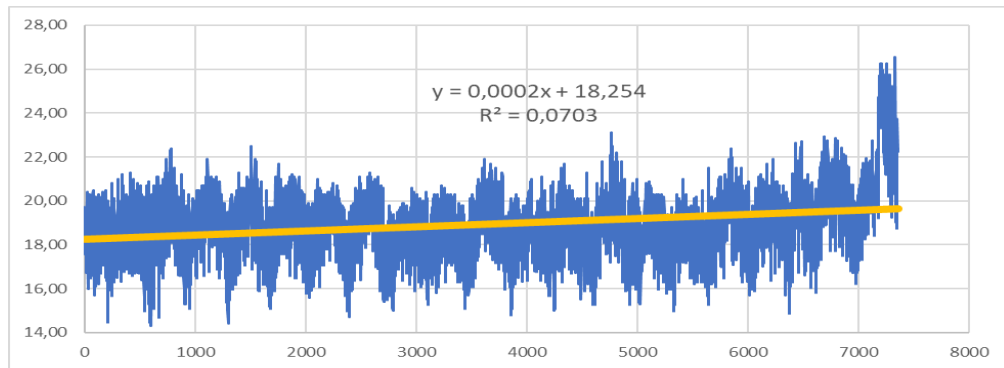
Como se observa en la figura 30, se evidencia una entropía relativamente constante desde el año 2000 hasta mediados del año 2016. Sin embargo, en el 2017 hubo un aumento de entropía y luego una disminución.

Figura 30. Entropía por año



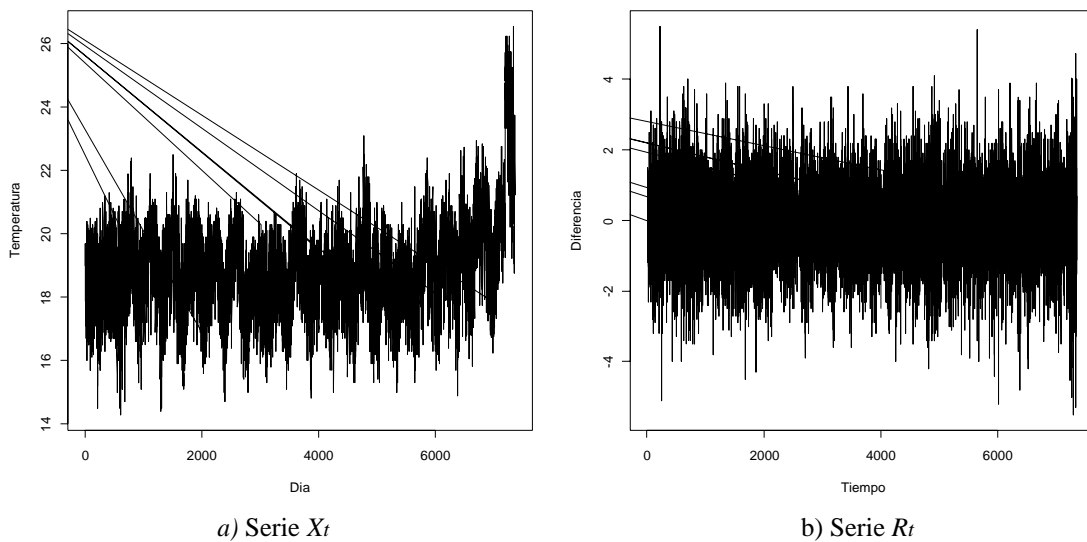
Al realizar una regresión lineal a los datos en cuestión se observa, en la figura 31, que en promedio la temperatura diaria en la estación meteorológica del parque San Agustín es de 17.353°C con un incremento diario de 0.0006°C . En el año 2017 la variación de temperatura con respecto a la media fue de 1.65°C .

Figura 31. Regresión lineal



Se debe analizar la variabilidad diaria R_t de la temperatura. Para ello, la serie de variaciones de temperatura X_t y la serie $R_{t+1} = X_t - X_{t-1}$ se observa en la figura 32.

Figura 32. Temperatura y su crecimiento



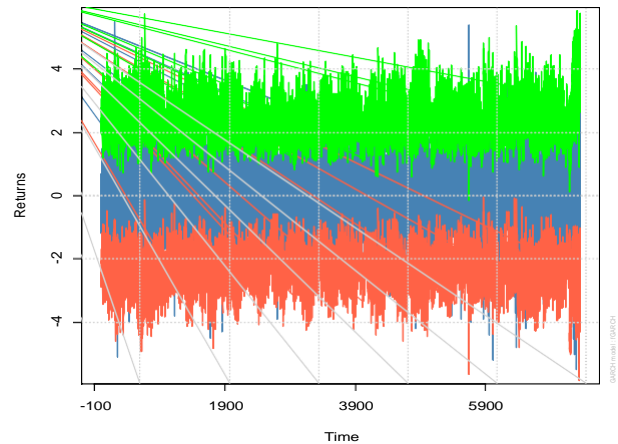
El modelo de volatilidad y variabilidad de la serie temporal, que mejor se ajusta a la serie

R_t es:

$$\begin{aligned}
 R_t &= 0.307R_{t-1} + 0.0484R_{t-2} - 0.9352a_{t-1} + a_t \\
 a_t &= \sigma_t \epsilon_t, \quad \epsilon_t \sim \text{NORM}(0,1) \\
 \sigma_t^2 &= 0.01402 + 0.02a_{t-1}^2 + 0.9673\sigma_{t-1}^2
 \end{aligned}$$

T con $BIC=2.9225$ como se observa en la figura 33, a dos bandas de variabilidad de la variancia de R_t con un nivel de confianza del 99%.

Figura 33. Modelo ARMA(2,1)+GARCH(1,1) con bandas de volatilidad al 95%

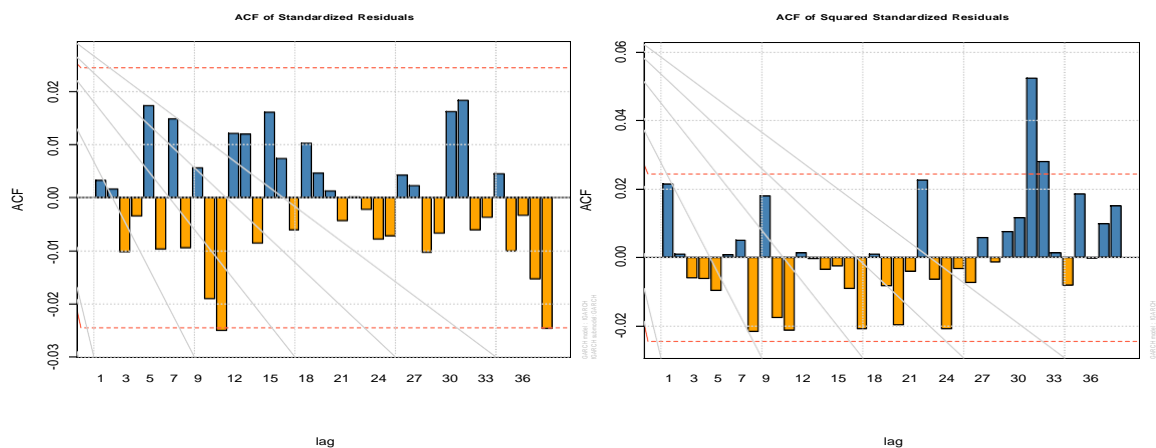


Como lo observado en la figura 34, la función de autocorrelación parcial, que determina si el modelo es bien definido, de los residuales estandarizados al cuadrado poseen pocos rezagos significativos, resulta que el modelo está bien especificado, está entre las dos franjas; sin embargo, la prueba de Ljung-Box para verificar este resultado.

Figura 34. ACF residuales estandarizados ARMA(2,1)+GARCH(1,1).

(a) ACF de $\tilde{\alpha}_t$

(b) ACF de $\tilde{\alpha}_t^2$



La prueba Ljung-Box muestra en forma conjunta de que todos los coeficientes de autocorrelación son simultáneamente iguales a cero, esto es, son independientes dos a dos, al contrastar el siguiente planteamiento de hipótesis:

$$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0$$

$$H_a: \rho_i \neq 0 \text{ para algún } j = 1, 2, \dots, k$$

$$\rho_j = \text{corr}(R_j^2, R_{j-k}^2) = \frac{\text{cov}(R_j^2, R_{j-k}^2)}{\sqrt{\text{Var}(R_j^2)}\sqrt{\text{Var}(R_k^2)}} = \frac{\frac{1}{(n-j)} \left[\sum_{t=1}^{n-j} (x_t - \bar{x})(x_{t+j} - \bar{x}) \right]}{\frac{1}{n} \left[\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2 \right]}, \quad j > 0$$

expresa la función de autocorrelación (ACF) hasta el rezago k y estadístico igual a

$$LB(k) = T(T+2) \sum_{j=1}^m \frac{\rho_j^2}{n-i} \sim \chi_k^2.$$

La probabilidad resultante, al aplicar la prueba de Ljung-Box a los rezagos obtenidos por el modelo, es del 18.35% el cual indica, a un nivel de significancia del 5%, que las autocorrelaciones conjuntas hasta el rezago 20 de los residuales estandarizados al cuadrado no son significativas, esto significa que no hay evidencia de auto correlaciones significativas hasta el rezago 20. Esto indica que el modelo en varianza o volatilidad se encuentra adecuadamente especificado.

De igual forma, la probabilidad resultante es del 82.21% el cual indica que no existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula y, por lo tanto, las autocorrelaciones conjuntas hasta el rezago 20 de los residuales estandarizados no son significativas indicando que el modelo en media condicional se encuentra correctamente especificado, esto significa que el modelo está bien ajustado.

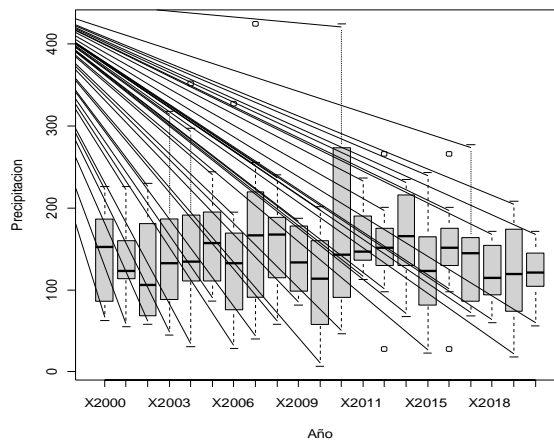
En el año 2017 la variación de temperatura con respecto a la media fue de 1.65°C y comparando con el estudio (Angel Oviedo, 2015) Para el período 2011-2100 se mostraría un aumento entre 1°C y 2°C en casi todo el territorio huilense, comparando las dos investigaciones la

variabilidad climática para un escenario futuro incrementaría hasta un 2°C. El grado de vulnerabilidad es moderado ante las nuevas condiciones de cambio climático.

6.2. PRECIPITACION

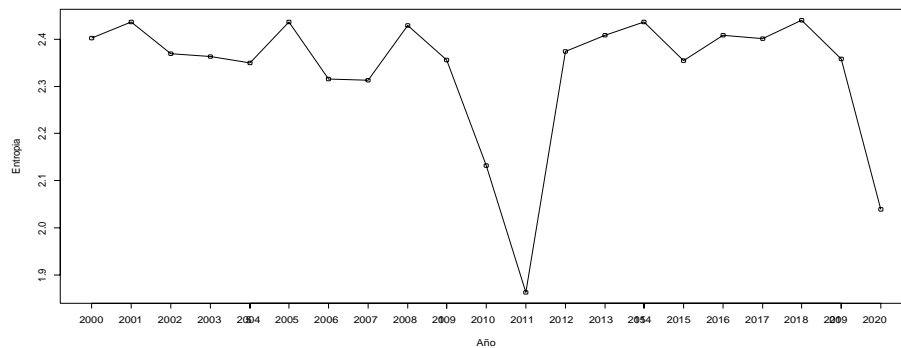
La serie de datos que la conforman corresponden a los datos mensuales de precipitación tomados por la estación meteorológica del parque arqueológico San Agustín, conformado por 543 datos. En la figura 35 se evidencia tamaños de las cajas significativas, en los cuales hay un aumento en la precipitación en el parque arqueológico, sin embargo, se procede a calcular la entropía para analizar si dichos aumentos son significativos.

Figura 35. Diagrama de cajas de precipitación



Como se observa en la figura 36, se evidencia varianzas en la entropía por año, del cual se deduce que la precipitación mensual por año ha sufrido cambios significativos por año. En el año 2011 la precipitación 2002 mm que comparado con 2008 que fue de 1598 mm da un incremento del 25%, según la siguiente gráfica de entropía se espera que de nuevo 2020 termine siendo un año bastante lluvioso.

Figura 36. Entropía por año



La segunda parte del proyecto consistió en determinar la variabilidad climática con la distribución espacial de la temperatura promedio diarios y la precipitación, para determinar el comportamiento de los años 2000 al 2020 ya que tiene un papel importante para generar las condiciones climáticas sobre el entorno próximo al parque Arqueológico de San Agustín. El clima presenta fluctuaciones un poco por encima de lo normal después del año 2017 sobre el valor promedio de la variable climatológica en un período de por lo menos 17 años; la secuencia de estas oscilaciones alrededor de los valores normales, se conoce como variabilidad climática y su valoración se logra mediante la determinación de las anomalías donde al analizar las secuencias históricas de anomalías se pudo evidenciar una variabilidad climática. Tales fluctuaciones se originan, generalmente, por procesos de los fenómenos del Niño y de la Niña que incide en la zona de estudio.

CAPITULO 7. COBERTURA VEGETAL

7.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA COBERTURA VEGETAL

Con el propósito de analizar los patrones y tendencias de los cambios que tiene el material vegetativo alrededor del parque arqueológico de San Agustín, con especial énfasis las áreas que tienen mayor densidad de material vegetativo, se analiza la distribución espacial de distintas categorías de material vegetativo y su evolución durante los últimos años. Para alcanzar este

objetivo, se lleva a cabo un análisis multitemporal de las coberturas del material vegetativo registradas en las imágenes satelitales seleccionadas. Se escogen 3 imágenes que permiten hacer un análisis temporal de cambio del material vegetativo cubre aproximadamente 5 años. Las fechas utilizadas para el procesamiento de imágenes son las siguientes: 2015, 2017 y 2020.

Las categorías de material vegetativo seleccionadas para las áreas de estudio se toman del NDVI - Índice de vegetación de diferencia normalizado, es un índice de gran aplicación para determinar la vegetación, desarrollado por ((Rouse Haas, 1973). Este índice permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie y caracterizar su distribución espacial. Se calcula como la diferencia normalizada entre la banda del rojo (RED) y del infrarrojo cercano (NIR),

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED};$$

NIR – Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano.

RED - Espectroscopía de Reflectancia de la parte Roja Visible.

Dónde: NDVI es el índice de vegetación cuyo resultado oscila entre -1 y 1, cuyos valores menores a 0,1 se interpreta como suelos desnudos o cuerpos de agua, mayores a estos va en relación equivalente a la cobertura vegetal, indican la actividad fotosintética de las diversas coberturas, así, los valores moderados (de 0,2 a 0,3) representan arbustos y praderas, mientras que, los valores grandes (de 0,6 a 0,8), matorrales, bosque templado y tropicales, selva y actividad agrícola (Gonzaga, 2014; Olivares & López 2019).

Tabla 2. Categorías del análisis multitemporal

	VALOR NDVI	DESCRIPCIÓN
	<i>Valor < 0</i>	El material inanimado/muerto, por ejemplo: carreteras, viviendas o las platas muertas.
	$0 \leq Valor < 0.33$	Marial vegetativo no saludable.
	$0.33 \leq Valor < 0.66$	Material vegetativo saludable.
	$0.66 < Valor$	Material vegetativo muy saludable

Fuente Autor.

Las imágenes satelitales se descargaron de la página oficial de Land Viewer es una aplicación online creada por EOS Data Analytics, que permite la visualización y descarga de imágenes procedentes de los satélites Landsat-7, Landsat-8, Sentinel-2 y Modis. Las imágenes descargadas son:

Imagen Satelital 1. Fotografía 2015, Sentinel-2 L2A-S2A_tile_20151221_18NUH



Imagen Satelital 2. Fotografía 2017, Sentinel-2 L2BS2B_tile_20171215_18NUH

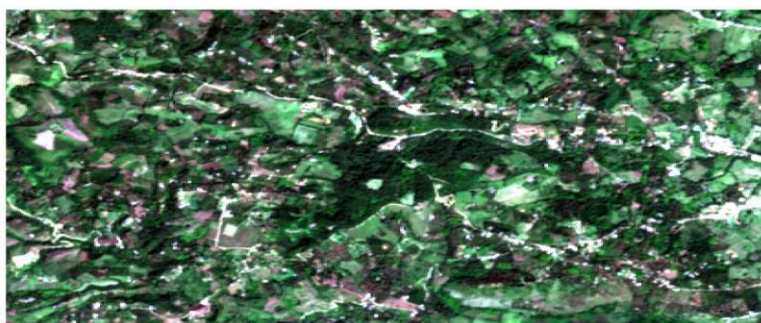


Imagen Satelital 3. Fotografía 2020, Sentinel-2 L2BS2B_tile_20200114_18NUH



Posteriormente, para cada una de las imágenes seleccionadas, se analizan las coberturas que permiten evaluar la evolución de los paisajes naturales (bosques nativos, matorrales arbustivos, rastrojos, área degradada), los usos de agricultura (café, lulo, ganadería) y la evolución de los procesos de asentamiento de la población.

Las categorías de material vegetativo son determinadas, en primera instancia, a partir de la clasificación no supervisada de las imágenes de satélite realizada en (QGIS 2019). Esto permite describir y establecer un resultado preliminar de la cantidad de clases posibles presentes dentro de la imagen. Este proceso se realiza para cada una de las imágenes en las fechas establecidas para el periodo de tiempo evaluado y, posteriormente, se evalúan los cambios presentados en el análisis multitemporal del área de estudio. En este análisis multitemporal se debe tener en cuenta el cambio total del estado de las áreas para cada una de las clases de material vegetativo presentes en la imagen para cada año, se compara entre años y, así, se determina el porcentaje de cambio de área (aumento o disminución) de cada clase identificada. Una vez consolidados los mapas para cada una de las tres fechas de análisis, se lleva a cabo el análisis mediante la comparación de las áreas de cada uso en el tiempo, en términos estadísticos y territoriales.

El análisis propuesto permite evaluar los factores territoriales que pueden aumentar los impactos de la deforestación y la pérdida de cobertura vegetal. Igualmente, se estudian las posibles áreas de intervención para mejorar la resiliencia, tales como la recuperación y/o protección de ecosistemas estratégicos. Los resultados del análisis de la evolución histórica del material vegetativo son instrumentales en la construcción de los modelos territoriales para escenarios futuros, en particular en la proyección de los usos del suelo en el escenario tendencial y para estimar los riesgos e índice de vulnerabilidad al cambio climático.

7.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL MATERIAL VEGETATIVO

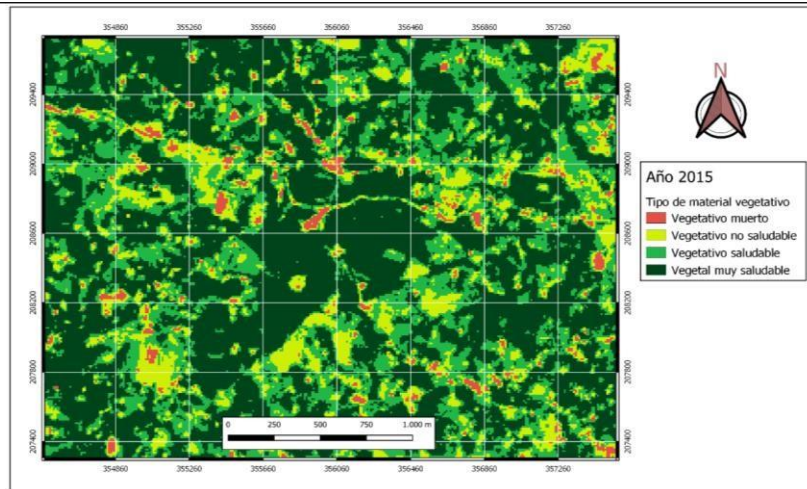
El análisis multitemporal 2015 - 2020 da cuenta de la evolución de la cobertura vegetal alrededor del parque arqueológico de San Agustín, Huila. El análisis parte del procesamiento de las tres imágenes satelitales seleccionadas para 2015, 2017 y 2020, para identificar la distribución de la cobertura del material vegetativo definidos en la sección de metodología, y la medición de las áreas por categoría de cobertura.

7.2.1. IMÁGENES SATELITALES DEL PARQUE ARQUEOLÓGICO SAN AGUSTÍN

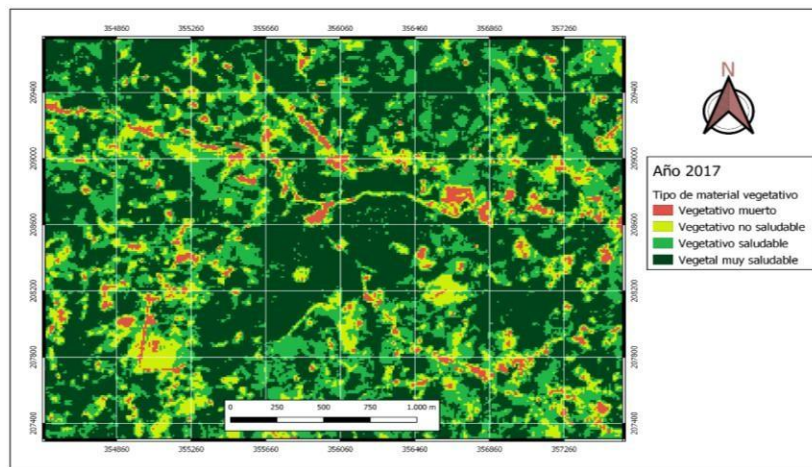
Las siguientes imágenes muestran la distribución de material vegetativo en el territorio, las imágenes satelitales 4 muestra la distribución del material vegetativo de en 2015, la imagen 5 en 2017 y la imagen 6 en 2020. El análisis comparativo de las tres imágenes como conjunto permite evaluar que material vegetativo han reemplazado a otros, además del crecimiento o decrecimiento de cada uno, lo que se deriva del análisis estadístico.

Imagen Satelital 4. Imagen Satelital. 4. Cobertura del material vegetativo 2015 – 2017 - 2020

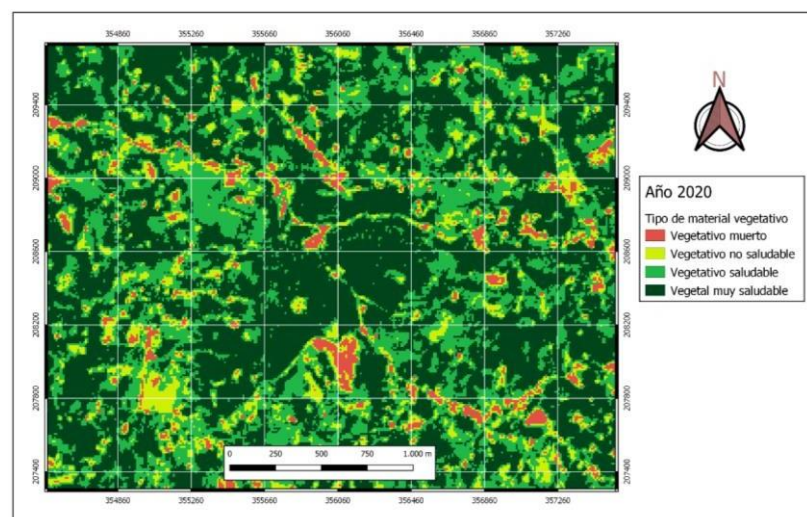
2015



2017



2020



Fuente Autor.

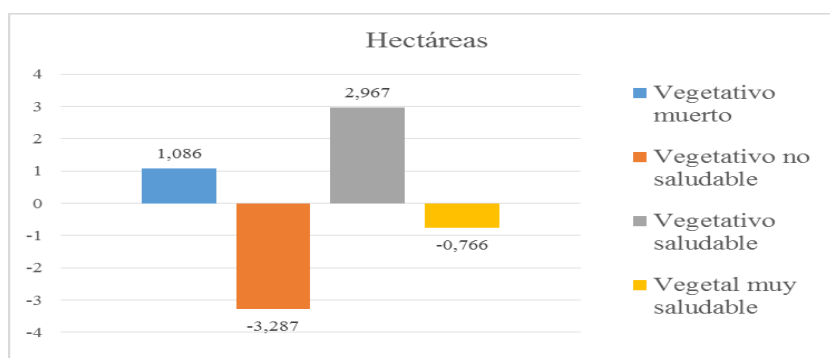
Tabla 3. Tipo de material vegetativo en 2015, 2017 y 2020.

Año	Extensión	Vegetativo muerto	Vegetativo no saludable	Vegetativo saludable	Vegetal muy saludable
	Porcentaje				
2015	ha	1,873	11,944	25,235	45,771
	%	2,2	14,1	29,8	54,0
2017	ha	2,888	11,472	26,231	44,232
	%	3,4	13,5	30,9	52,1
2020	ha	2,959	8,657	28,202	45,005
	%	3,5	10,2	33,2	53,1

La figura 37 y figura 38 muestran el análisis estadístico de la evolución del material vegetativo, por categoría de cobertura entre 2015 y 2020. La figura 37 muestra la ganancia y pérdida neta por categoría para todo el periodo de estudio, mientras la figura 38 indica el área ocupada por cada categoría de material vegetativo en la imagen satelital analizada para cada una de las fechas seleccionadas.

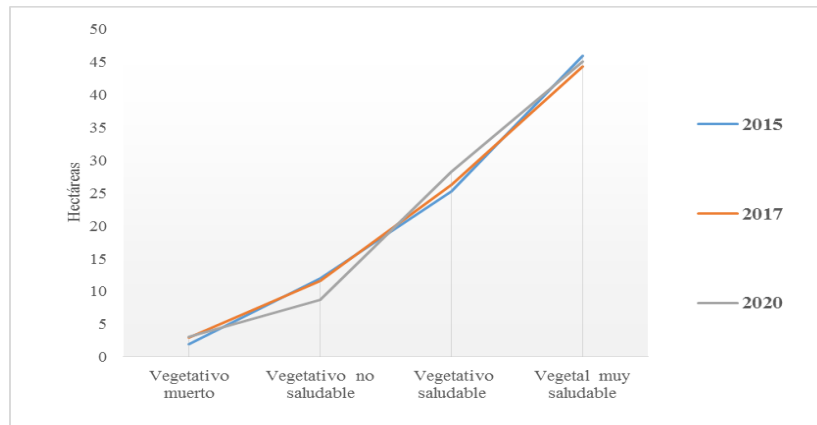
El análisis de ganancia y pérdida neta por categoría de uso del suelo 2015 - 2020 muestra un incremento significativo del material vegetativo muerto (1,086 ha) y el área del material vegetativo saludable (2,967 ha), y pérdidas significativas en las coberturas de material vegetativo no saludable (3,287 ha) y material vegetativo muy saludable (0,766 ha).

Figura 37. Ganancia y pérdida neta por categoría de material vegetativo 2015 – 2020



Fuente Autor.

Figura 38. Área ocupada categoría de material vegetativo en 2015, 2017 y 2020.

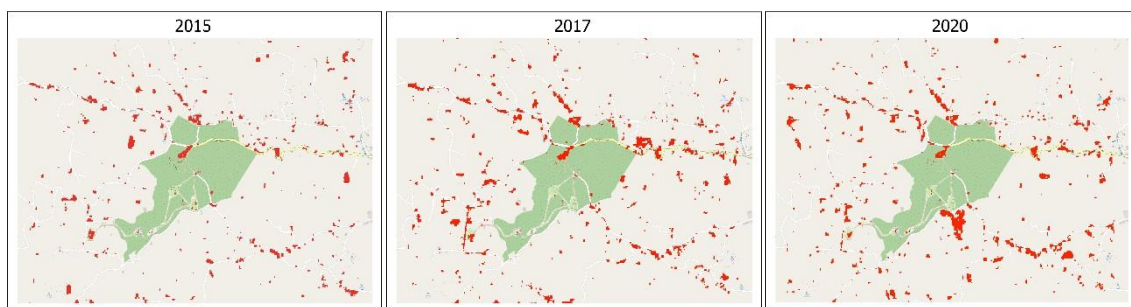


Fuente Autor.

7.2.2. MATERIAL VEGETATIVO MUERTO

Las zonas con material vegetativo muerto presentan un cambio notorio durante el periodo 2015 - 2020. Si bien tanto en 2015 ocupan 1,873 ha, en 2020 ocupan 2,959 ha, con un aumento del 58%, que corresponden incremento de asentamientos de población, preparación de terrenos para la siembra de cultivos y cobertura sin vegetación.

Imagen Satelital 5. Evolución del material vegetativo muerto.



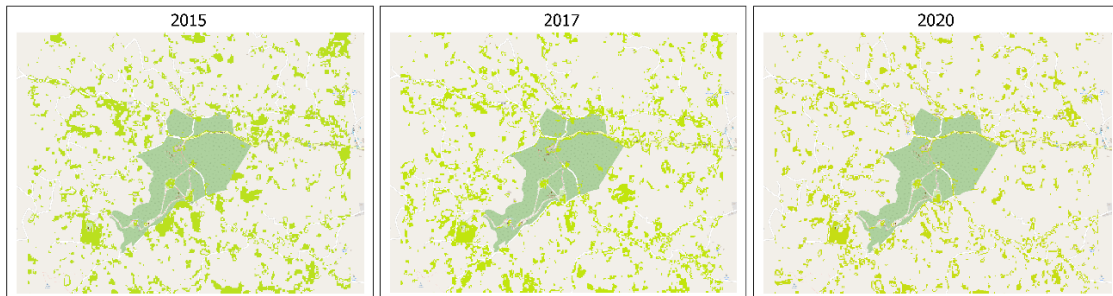
Fuente Autor.

7.2.3. MATERIAL VEGETATIVO NO SALUDABLE

Por su parte, las zonas con material vegetativo no saludables son el tipo de suelo con la mayor transformación en el tiempo y la mayor pérdida neta en el período de estudio. De esta manera, se han reducido al 72,5 % y para 2020 hay 8,657 ha. La tendencia de este tipo de

material es: que han sido áreas gradualmente desplazadas en el tiempo por otros usos como material vegetativo muerto y material vegetativo saludable, este último representa un incremento de la densidad de marial vegetativo en las zonas de cultivos, ganadería, barbecho y el desarrollo urbano.

Imagen Satelital 6. Evolución del material vegetativo no saludable

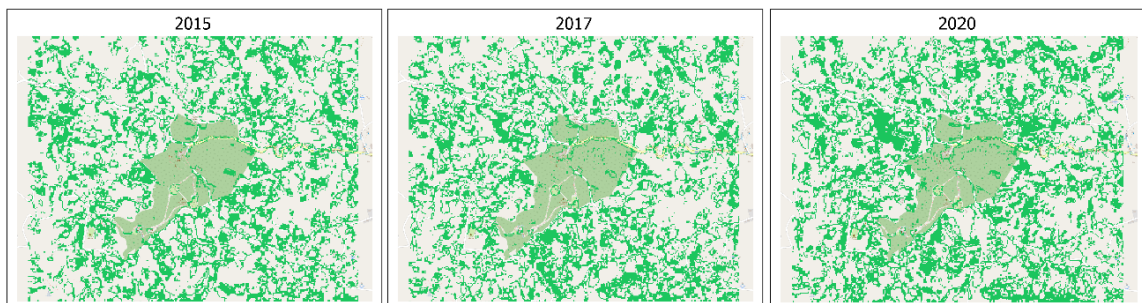


Fuente Autor.

7.2.4. MATERIAL VEGETATIVO SALUDABLE

Las zonas con material vegetativo saludable representan la mayor parte de las zonas productivas al redor del parque, como zona de cultivos, zona de ganadería y matorrales. Durante el período de estudio tuvo aumento del 11,8%, esto se debe en gran parte al crecimiento de material vegetal en zonas sin vegetación y zonas de cultivos, y a la pérdida del material vegetativo muy saludable (deforestación).

Imagen Satelital 7. Evolución del material vegetativo saludable.

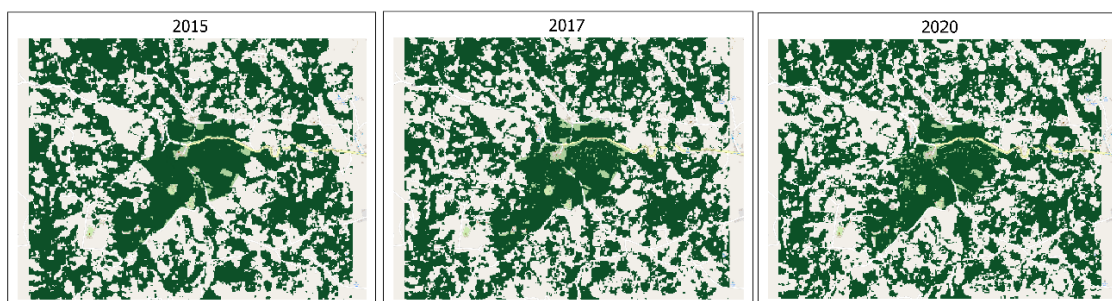


Fuente Autor.

7.2.5. ZONAS CON MATERIAL VEGETAL MUY SALUDABLE

Las zonas con material vegetal muy saludable son actualmente el tipo de suelo con mayor proporción de ocupación en relación al área total de estudio (45,005 ha con respecto a más de 84,823 ha, este representa el 53,1% del área de estudio). Dentro de esta podemos encontrar el bosque nativo, bosque reforestado y barbecho alto. Sin embargo, se redujo al 98% durante el periodo de estudio y presenta una tendencia de disminución de las grandes concentraciones de bosque, dejando pequeñas zonas de bosque dispersas, esto se debe a la ampliación de terrenos para rotación de cultivos, tala de bosque para extraer maderas para el uso de la vivienda o cultivos, no reforestación.

Imagen Satelital 8. Evolución del material vegetativo muy saludable.



Fuente Autor.

7.3. PROBABILIDADES Y TRANSICIÓN DE LOS ESTADOS DE LAS ÁREA DE MATERIAL VEGETATIVO

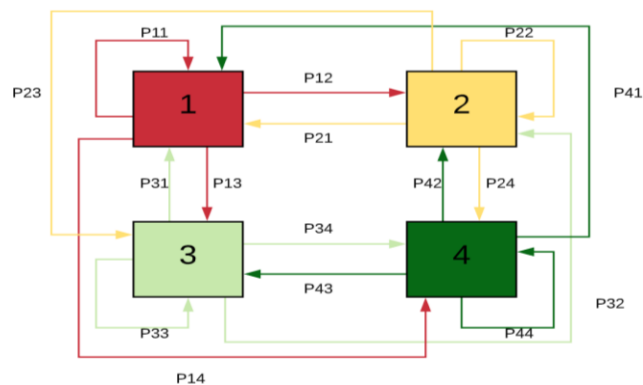
A partir de la clasificación del material vegetativo alrededor del parque realizada en 7.2.1, se simuló el cambio en la cobertura de material vegetativo, para lo cual, se consideró un escenario futuro (2025). Se hace asumiendo que la dinámica de los cambios tiene un comportamiento que se puede explicar como un proceso estocástico, mediante una cadena de Markov de primer orden (Briceño Valera, 2003).

Con las cuatro categorías de material vegetativo 1(muerto), 2 (no saludable), 3 (saludable) y 4 (muy saludable). Si iniciamos con el estado (4) que puede ser considerado como el estado natural, no intervenido, el sistema puede cambiar al (3 y 2), un estado intervenido con

actividades agrícolas o al estado (1), actividades urbanas y sus relacionados; también se puede dar el caso de que no cambie y permanezca en el (4). El proceso entonces se puede describir como una serie de valores de estados.

Aplicación de los autómatas celulares “el juego de la vida” y los elementos de un autómata celular figura 39.

Figura 39. Diagrama de transición de estados.



Fuente Autor.

Para implementar el método de cadenas de Markov se utilizó el módulo Markov del software IDRISIS Selva, este método analiza dos imágenes cualitativas de cubierta terrestre de distintas fechas y produce una matriz de transición de áreas, con un juego de imágenes de probabilidad condicional. La matriz de transición registra la probabilidad de que cada categoría de cubierta terrestre cambie a cada una de las otras categorías. Mientras que la matriz de transición de áreas registra el número de píxeles de cada tipo de cubierta terrestre que se espera que cambien a cada uno de los otros tipos de cubierta terrestre sobre el número especificado de unidades de tiempo. Las imágenes de probabilidad condicional reportan la probabilidad de que cada tipo de cubierta terrestre se encuentre en cada píxel después del número especificado de unidades de tiempo y pueden usarse como imágenes de probabilidad anterior en la Clasificación de Máxima Verosimilitud de imágenes captadas por sensores remotos (Eastman, 2014). Además del análisis anterior se estimó una tasa de deforestación futura, entre la clasificación 2015 y el escenario obtenido para 2025. Con esto se obtuvo el porcentaje de cambio anual en el material

vegetal muy saludable a saludable, no saludable y muerto mediante la ecuación propuesta por (Universidad Nacional Autónoma de México, 2004):

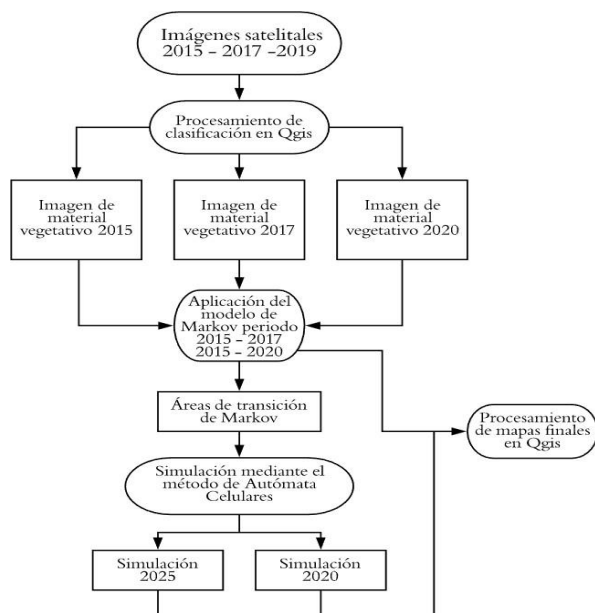
$$Td = \left[\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] * 100\%,$$

donde: Td = tasa de deforestación anual en porcentaje, S_1 = superficie en la fecha inicial, S_2 = superficie en la fecha final, n = diferencia de años entre fecha inicial y final.

7.4. GENERACIÓN DEL MAPA DE USO DE SUELO PARA 2025

Los cálculos anteriores arrojan la situación probabilística de cambio temporal, pero no espacial, por lo tanto, el método el que se utilizó fue el módulo CA_MARKOV de IDRISI Selva. Es un procedimiento combinado de autómatas celulares y predicción de cambios Markov en la cubierta terrestre. Éste suma un elemento de contigüidad espacial y el conocimiento sobre la distribución espacial probable de las transiciones al análisis de cambio Markov (Eastman, 2014). Finalmente, en esta fase, se procedió a calcular las medidas de superficie (áreas en ha) de la cobertura vegetal para cada año simulado.

Figura 40. Diagrama de transición de estados.



Fuente Autor.

7.5. RESULTADOS

Luego de la elaboración de los mapas en categorías de uso de la tierra para los años 2015, 2017 y 2020, se realizó la matriz de conteo que muestra las diferentes celdas que han cambiado de acuerdo a su categoría (Tabla 4). Utilizando los datos del Tabla 4 y mediante una operación de multiplicación de matrices se calculó la matriz de relaciones de cambio o matriz de transición (Tabla 5), que expresa las relaciones de cambio existentes entre las diferentes categorías de material vegetativo.

Tabla 4. Matriz de transición de áreas entre 2015-2020

Material vegetativo	Muerto	No saludable	Saludable	Muy saludable	Total
Muerto	1,066	0,928	0,726	0,239	2,959
No saludable	0,897	2,137	4,260	1,363	8,657
Saludable	0,887	3,916	12,254	11,145	28,202
Muy saludable	0,449	2,337	13,405	28,815	45,005
Total	3,299	9,318	30,645	41,562	84,823

Los valores en la diagonal marcados en negrita representan las superficies que se mantendrán estables entre 2020 y 2025. Los valores transversales representan las superficies de intercambio entre las clases de uso de suelo.

La matriz de transición de áreas generadas de acuerdo al modelo de Markov muestra que el material vegetal muy saludable alrededor del Parque Arqueológico de San Agustín tendrá un cambio notable en superficie al 2025 con respecto a lo comparado de 2020 (Tabla 5), la simulación muestra un decrecimiento de superficie, se espera que sea del 7,6%. Mientras que, el material vegetativo muerto, no saludable y saludable muestran un incremento en su superficie. Para el 2025 se espera que las áreas con material vegetativo muerto aumenten un 11,5%, el material vegetativo no saludable aumente un 7,6% y el material vegetativo saludable aumente un 8,7% con respecto a 2020. La Tabla 5 presenta la matriz de probabilidad de transición de los diferentes tipos de material vegetativo al 2025; las filas representan los tipos de material vegetativo al 2020, mientras que las columnas representan las superficies modeladas con Markov al 2025.

Tabla 5. Matriz de probabilidad de transición entre 2015-2020

Material vegetativo	Muerto	No saludable	Saludable	Muy saludable	Total
Muerto	0.3603	0.3136	0.2454	0.0806	0.9999
No saludable	0.1036	0.2469	0.492	0.1575	1
Saludable	0.0314	0.1389	0.4345	0.3952	1
Muy saludable	0.01	0.0519	0.2978	0.6403	1
Total	0.5053	0.7513	1.4697	1.2736	3.9999

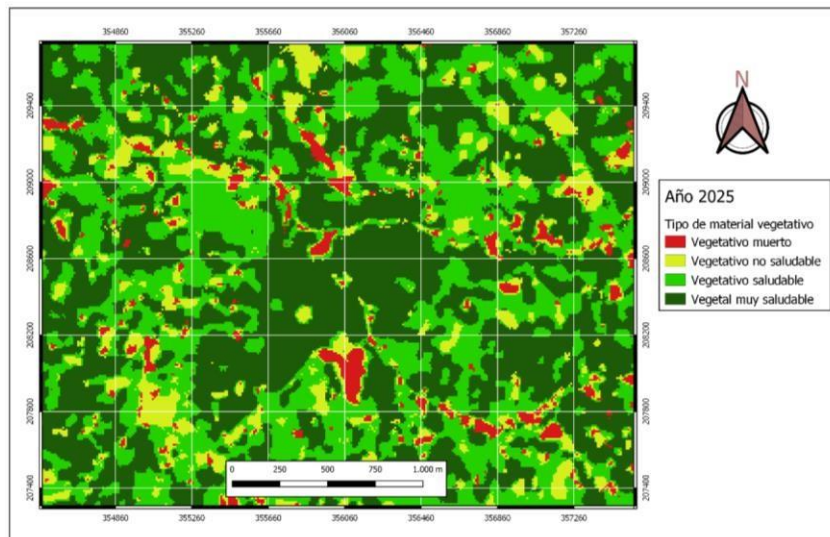
De acuerdo con esta matriz de probabilidad de transición para un período de 5 años, las probabilidades de permanencia de superficie en cada tipo de material vegetativo son: del 64% para el material vegetal muy saludable, del 30% para el material vegetativo saludable, del 25% para el material vegetativo no saludable y del 36% para el material vegetativo muerto.

Cabe señalar que la probabilidad más alta de transición del material vegetal muy saludable a otro, se registró en la categoría de material vegetativo saludable, con 30%. Luego tenemos el material vegetativo no saludable con 5% y por último el material vegetativo muerto con 1% no representa una gran amenaza para el material vegetal muy saludable.

Imagen Satelital 9 corresponde al escenario simulado para 2025, esta proyección espacio-temporal muestra gráficamente la distribución de los tipos de material vegetativos dentro del área de estudio.

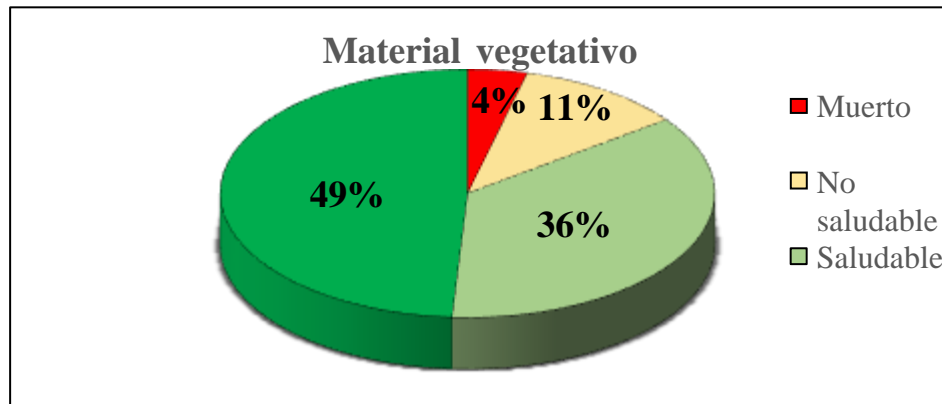
La figura 41 corresponde al porcentaje de la distribución de cada tipo de material vegetativo alrededor del parque Arqueológico de San Agustín para 2025.

Imagen Satelital 9. Escenario simulado del vegetativo alrededor del parque Arqueológico de San Agustín para 2025.



Fuente Autor.

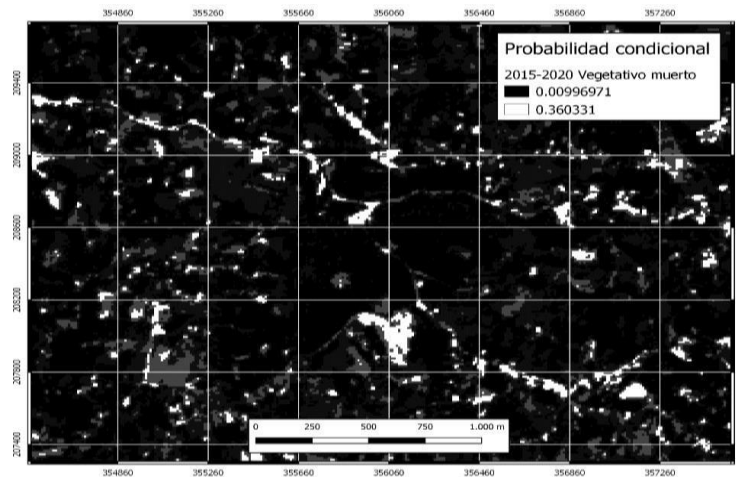
Figura 41. Distribución material vegetativo alrededor del parque para 2025.



Fuente: Autores.

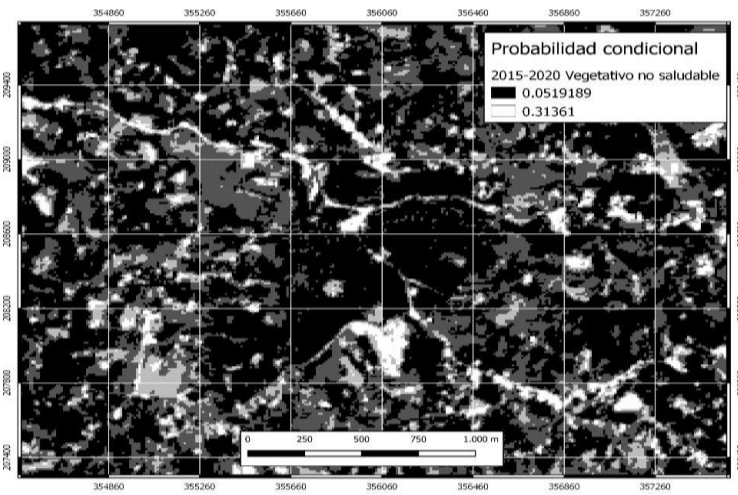
Las imágenes 10, 11, 12 y 13 registran la probabilidad condicional de cada tipo de material vegetativo se encuentre en cada píxel después de un periodo de 5 años. En cada imagen la categoría que representa es la tonalidad blanca.

Imagen Satelital 10. Probabilidad condicional para el material vegetativo muerto



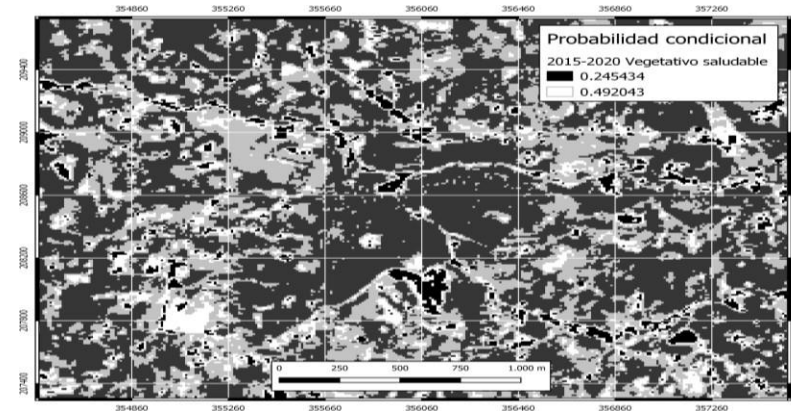
Fuente Autor.

Imagen Satelital 11. Probabilidad condicional material vegetativo no saludable



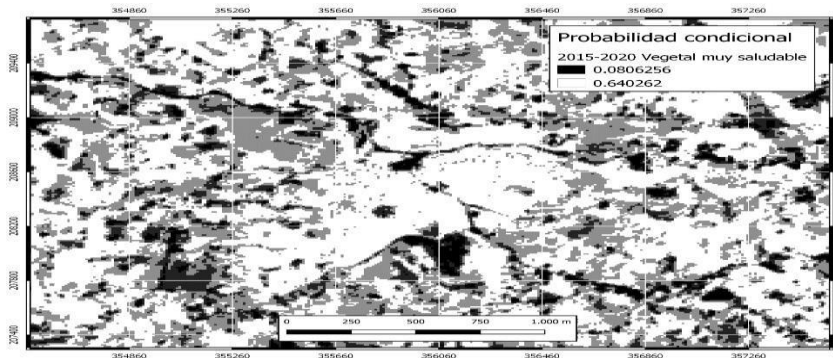
Fuente Autor.

Imagen Satelital 12. Probabilidad condicional para el material vegetativo saludable



Fuente Autor.

Imagen Satelital 13. Probabilidad condicional para el material vegetal muy saludable.

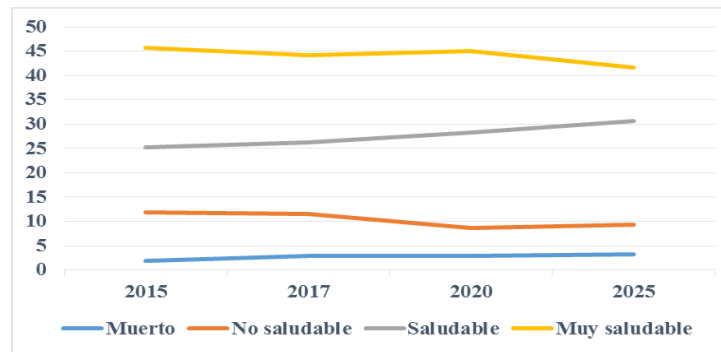


Fuente Autor.

Tabla 6. Área ocupada por cada categoría de material vegetativo en 2015, 2017, 2020 y 2025

Material vegetativo	2015	2017	2020	2025
Muerto	1,873	2,888	2,959	3,299
No saludable	11,944	11,472	8,657	9,318
Saludable	25,235	26,231	28,202	30,645
Muy saludable	45,771	44,232	45,005	41,562

Figura 42. Comparación del área ocupada por cada categoría de material vegetativo en



Fuente Autor.

La tasa de deforestación anual tomada a partir de las imágenes de 2015 a 2020.

$$Td = \left[\left(\frac{41,562}{45,005} \right)^{\frac{1}{5}} - 1 \right] * 100\% = -1,579\%$$

7.6. VALIDACIÓN DEL MAPA DE CAMBIO DE USO DE SUELO 2025

Como una manera de evaluar la congruencia (precisión) del modelo de Markov-autómatas celulares para la proyección 2025, se usó el mapa de clasificación del 2015 y el mapa de uso de suelo 2017 (Valdez-Lazalde et al. 2011), para proyectar un mapa de uso de suelo 2020 a través de

cadena de Markov-autómatas celulares. Con el mapa generado a partir de imágenes SPOT y el mapa proyectado al 2020, se realizó una comparación de similitud entre ambos mapas usando el módulo CROSSTAB de IDRISIS Selva. Este módulo proporcionó el estadístico Kappa (K) para evaluar la similitud entre la clasificación actual 2020 y el mapa proyectado al 2020. Esto permitió tener una referencia sobre la precisión de la proyección al 2025 generada a base de los mapas de 2015 y 2020. El estadístico Overall Kappa es de 66%, por lo que se consideran aceptables (Viera and Garrett 2005). Otros estadísticos mostrados por el módulo son: Chi-cuadrado 137116,6406, df a 9 y V de Cramer a 0,7341.

Imagen Satelital 14. Clasificación actual 2020 y el mapa proyectado al 2025.

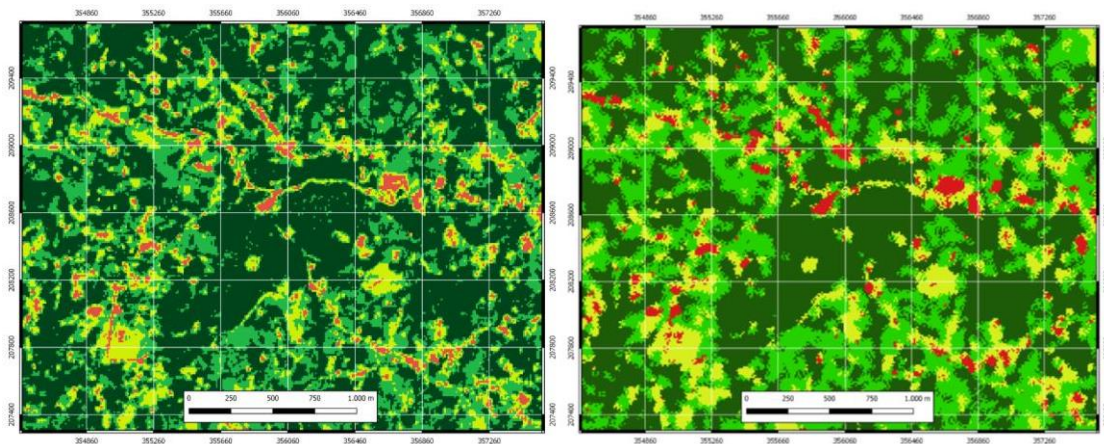


Tabla 7. Validación cobertura del suelo

Material vegetativo	2020	2020 Simulado	Diferencia
Muerto	2,959	3.388	0,424
No saludable	8,657	12,798	4,141
Saludable	28,202	28,620	0,418
Muy saludable	45,005	40,017	-4,988

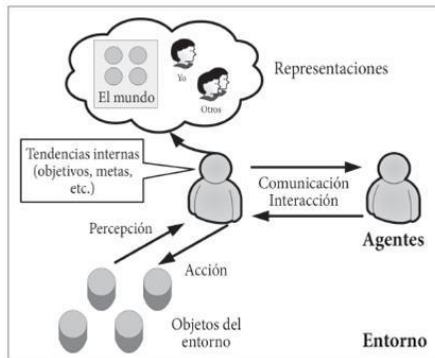
La tercera parte del proyecto consiste en comprender la variabilidad climática de la zona de estudio sobre el paisaje, con el seguimiento de la variabilidad con respecto al uso del suelo y su transformación en el tiempo donde es fundamental para estimar la sensibilidad a las

variaciones climáticas y a las presiones humanas, dadas por los cambios en el uso del suelo y en la cobertura vegetal. Es así como, la comprensión y cuantificación de los impactos combinados del cambio en el uso y cobertura vegetal del suelo y la variabilidad climática sobre el contexto del paisaje sobre el entorno próximo al parque Arqueológico de San Agustín, lo que implica diseñar estrategias más sostenibles en las que se combine la restauración de la vegetación con medidas de conservación del suelo, que al mismo tiempo favorezca la permanencia de coberturas vegetales protectoras de los bosques nativos. De acuerdo con lo anterior, el proyecto de investigación está orientado a entender cómo los cambios en el uso del suelo y en la cobertura vegetal con la interacción de la variabilidad climática regional, pueden influir en la variación espacial y temporal en el suelo y la productividad agrícola, del cual podemos extraer datos, analizarlos y aplicar diferentes métodos y técnicas de minería de datos para identificar el índice de Riesgo.

CAPITULO 8. MODELIZACION ESCENARIOS BASADA EN AGENTES

“Los modelos basados en agentes (MBA) constituyen una nueva generación de métodos computacionales que permiten modelar la estructura de un sistema ambiental y simular su evolución dinámica a lo largo del tiempo” (Rodríguez Zoya & Roggero, 2015). (Ferber, 1995) sugiere que un agente es alguien capaz de actuar en un entorno, percibir y representar parcialmente los entornos, comunicar de modo directo o indirecto con otros agentes. La siguiente figura 43 representan los elementos de una arquitectura típica de la modelización basada en los agentes.

Figura 43. Modelización Basada en Agentes, Ferber



Fuente: Jacques, (1995) Les Systèmes multi agents.

Un agente constituye la unidad elemental e indivisible de un sistema, por ejemplo, una persona, un grupo de personas, un hogar, o una organización. Los agentes, por definición, tienen un propósito y responde decidiendo o actuando conforme a las reglas que rigen su comportamiento. Éstas diferencian a cada agente, definen las interrelaciones entre los agentes y el ambiente, y establecen la secuencia de acciones con el tiempo. Las reglas se activan bajo condiciones distintas (LANCIS, UNAM).

8.1. NETLOGO

NetLogo es un entorno de modelado programable para simular fenómenos naturales y sociales. Fue escrito por Uri Wilensky en 1999 y ha estado en continuo desarrollo desde entonces en el Center for Connected Learning and Computer Based Modeling (Centro de Aprendizaje Conectado y Modelado Basado en Computadora).

NetLogo es especialmente adecuado para modelar sistemas complejos que se desarrollan con el tiempo. Los modeladores pueden dar instrucciones a cientos o miles de "agentes" que operan independientemente. Esto permite explorar la conexión entre el comportamiento a nivel micro de los individuos y los patrones de nivel macro que surgen (emergen) de su interacción.

8.2. VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL ENTORNO

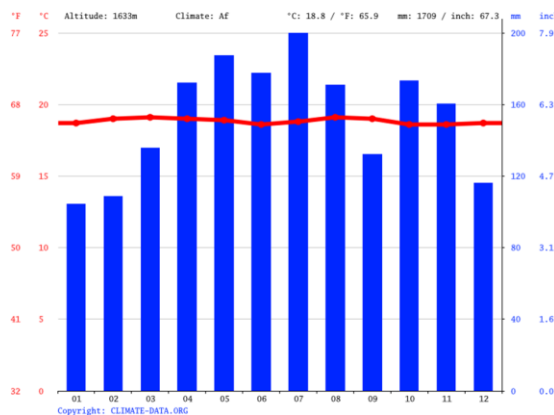
Tomamos en cuenta el promedio de lluvia total anual es de 1448 mm. Durante el año las lluvias se distribuyen en dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas. La temporada seca principal tiene lugar en los meses de diciembre, enero y febrero; un breve período seco, se presenta en el mes de septiembre.

Las temporadas de lluvia se extienden desde finales de marzo hasta julio y en los meses de octubre y noviembre. En los meses secos de principios de año, llueve de 15 a 17 días/mes; en los meses de mayores lluvias puede llover de 21 a 24 días/mes. La temperatura promedio es de 18.1 °C. Al medio día la temperatura máxima media oscila entre 21 y 23°C. En la madrugada la temperatura mínima está entre 13 y 14°C.

La humedad relativa del aire oscila durante el año entre 79 y 84 %, siendo mayor en los meses de junio y julio y menor en enero y febrero:

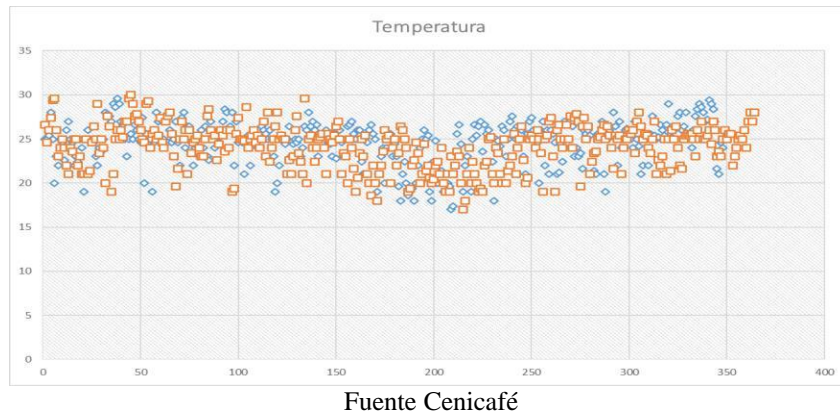
Temperatura: la temperatura promedio del parque es de 18°C, así mismo, la temperatura máxima alcanzada en el parque arqueológico de San Agustín tiene un valor próximo a los 30°C, esta se alcanzó en el año 2019, y una temperatura mínima promedio de 14°C.

Figura 44. Temperatura promedio



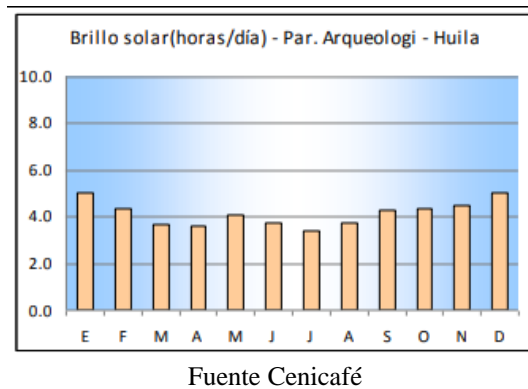
Fuente Cenicafé

Figura 45. Temperatura máxima desde 2019



Brillo solar: El sol brilla cerca de 4 horas diarias en los meses lluviosos, pero en los meses secos, la insolación está alrededor de 5 horas diarias. Así, los valores promedio de mayor brillo solar se presentan para los meses de enero y diciembre con indicadores de 150 horas/mes, el menor brillo solar es en promedio de 120horas/mes.

Figura 46. Brillo Solar (horas/día), mensual 2019



8.3. ESPACIO PARA LA SIMULACIÓN

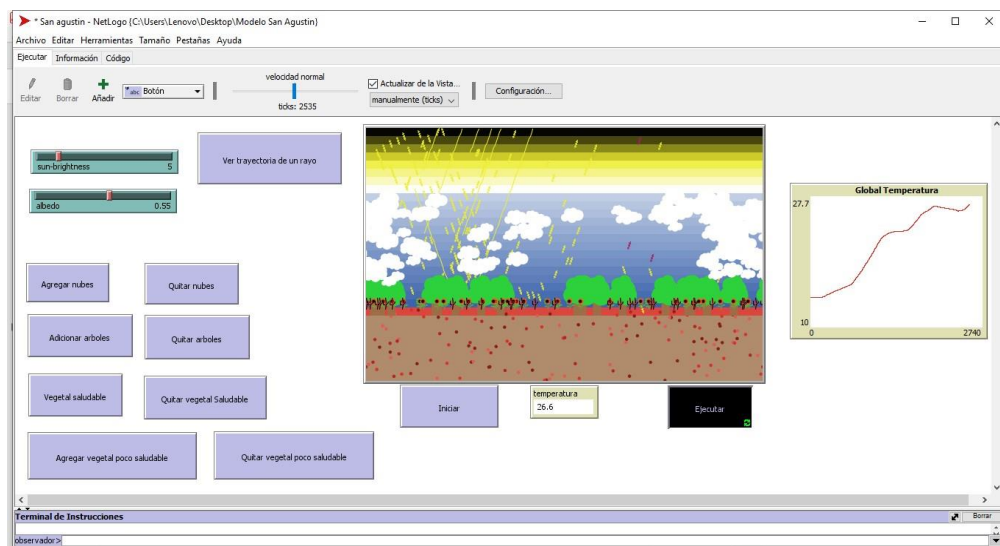
Para la simulación del Modelo de variabilidad climática sobre el parque arqueológico de San Agustín, se llevó a cabo una investigación de datos estadísticos de las variables a tener en

cuenta en la simulación para este sitio, como por ejemplo temperatura promedio, máxima y mínima, brillo solar máximo y mínimo.

En la plataforma NetLogo se realizan modelos de simulación, en donde se puede representar el comportamiento de la temperatura en un mundo compuesto por el cielo y la capa superior e inferior de la tierra, con la presencia de rayos solares, de nubes y con los distintos albedos existentes en determinado mundo. Para reforzar los albedos se construyeron otros agentes que representan la cobertura vegetal que se encuentra sobre el parque, a estos se les llamó árboles, vegetal saludable y poco saludable.

Para esta simulación, se consideró como referencia la simulación “Climate Change” de la biblioteca de modelos de NetLogo, para pasar a modificar rangos de temperaturas y brillo solar que presenta el parque arqueológico. A continuación, se observa el escenario de simulación.

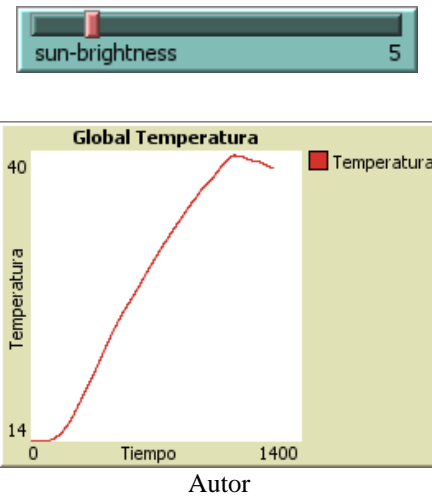
Figura 47. Escenario para la simulación



Autor

El escenario anterior “muestra” el parque arqueológico San Agustín acompañado de algunos botones y deslizadores como también de un gráfico global de la temperatura que nos arroja cómo se comporta el cambio climático en esta región.

Figura 48. Variación de la temperatura



8.4. BRILLO SOLAR Y ALBEDO

El deslizador observado en la figura 49 permite graduar la cantidad de brillo solar que en nuestro modelo será de 4horas/días y 5horas/día, cuya escala mensual será de 150 y 120 horas/mes. Los albedos se pueden clasificar en la siguiente tabla.

Tabla 8. Albedos típicos de varias superficies

SUPERFICIE	(%)	SUPERFICIE	(%)
Nieve, fresca	75 – 90	Piedras	20 – 30
Nieve, vieja	35 – 70	Duna, arena	20 – 45
Hielo	60	Marga, seca	23
Agua, profunda	5 – 20	Marga, húmeda	16
Arcilla, húmeda	16	Concreto	15 – 37
Arcilla, seca	23	Edificios	9
Nubes, gruesas	70 – 95	Urbano, medio	15
Nubes, finas	20 – 65	Caña de azúcar	15
Suelo, arenoso	20 – 25	Maíz	18
Cal	45	Algodón	20 – 22
Yeso	55	Bosque, confieras	5 – 15
Granito	12 – 18	Gramina, verde	26

Fuente Cenicafé

El albedo es de gran importancia para el calentamiento de la tierra y el clima global. El albedo nos dice, el porcentaje de la radiación solar que es reflejado directamente de vuelta al espacio, previniendo que la tierra absorba toda la energía. Los cambios en el paisaje y en el clima

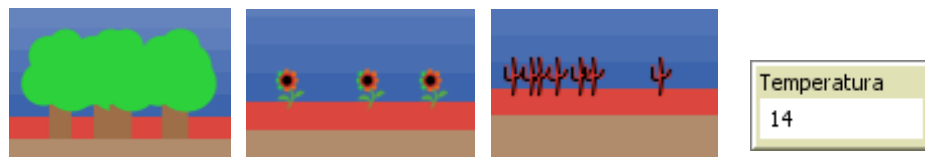
de la tierra, pueden llevar a cabo cambios en el albedo, que tendrían un impacto en el presupuesto de la radiación de la tierra y por lo tanto llevarían a un calentamiento o enfriamiento en la superficie terrestre.

Figura 49. Albedo seleccionado



El albedo se considera uno de los factores más importantes de la modelización ya que cualquier cambio en el genera cambios drásticos en el valor de la temperatura global. El albedo en esta simulación se aumenta considerablemente cuando le agregamos capaces vegetales a la simulación, estas capaz se representan con los nombres “agregar árboles”, “vegetal saludable”, y “vegetal poco saludable” cuya representación gráfica es:

Figura 50. Temperatura seleccionada



Seleccionamos la temperatura mínima promedio. Este monitor cambiara de acuerdo con los pasos de tiempo y representara la cantidad de temperatura.

8.5. ESCENARIOS FUTUROS

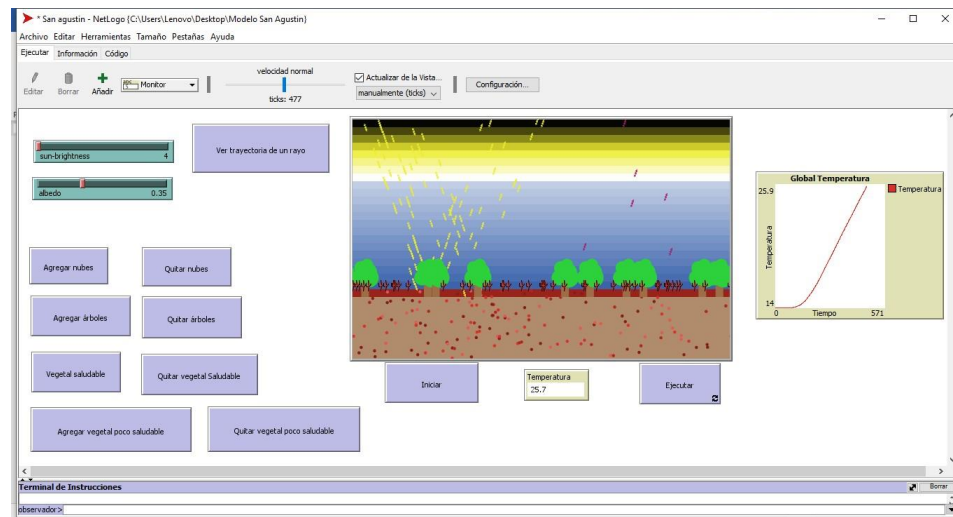
La simulación comienza con una temperatura mínima de 14°C, el valor del albedo estará en una escala de 0 a 55% teniendo en cuenta que la zona de estudio en su mayoría es vegetativa o boscosa y además la mayor cantidad de tiempo mantiene parcialmente nublado el paisaje. Para el valor del brillo solar se tomó el valor mínimo de horas diarias que hay sol, es decir, el brillo solar o *sun-brightness* estará en una escala de 4 a 5 horas/día. Con los datos anteriores procedemos a observar en la figura 51 el comportamiento del sistema.

Figura 51. Escenarios simulados



Las razones por la cual la temperatura puede aumentar considerablemente en el parque pueden ser la deforestación, la quema de árboles, la plantación de plantas poco saludables, por eso a continuación vemos que si se remueven árboles o vegetal saludables de la zona y plantamos vegetal poco saludable la temperatura aumentará de $14,3^{\circ}\text{C}$ a $25,7^{\circ}\text{C}$ en el mismo tiempo.

Figura 52. Escenarios con reforestación



Fuente Autor

El alcance de esta cuarta parte del proyecto de investigación es la construcción de un modelo de simulación basado en agentes para resolver las variables climáticas sobre el entorno

próximo al parque mediante el desarrollo del código computacional necesario para ello. Adicionalmente se realizó simulaciones para evaluar la ejecución del modelo de simulación basado en agentes y por último se realizó el caso de estudio sobre las temperaturas promedio y el albedo donde se puede concluir, lo más importante que deben hacer las personas de los alrededores del parque para que no se vean los cambios drásticos en el paisaje es tratar de aumentar el albedo. Para esto se pueden construir iniciativas de reforestación en las zonas donde halla vegetal poco saludable y evitando la creación de estructuras cuyo índice de albedo sea muy bajo.

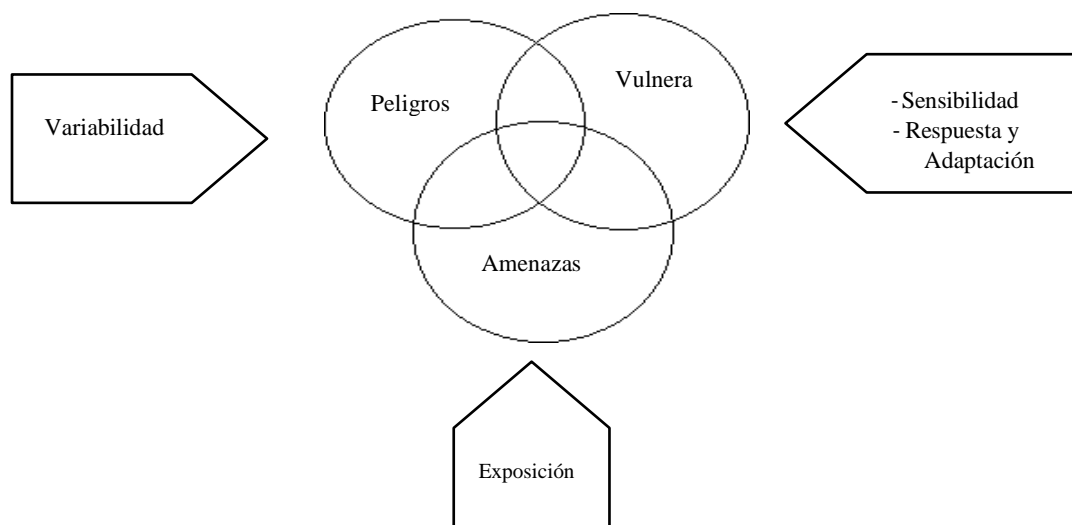
CAPITULO 9. INDICE DE RIESGO CLIMÁTICO Y ANTRÓPICO

Objetivo específico 3. Establecer el Índice de Riesgo derivado de los impactos climáticos y antrópicos que afecta la zona de vida en el entorno próximo al Parque Arqueológico de San Agustín Huila.

Para estimar la vulnerabilidad entre la variabilidad climática que afecta el paisaje de entorno próximo al parque Arqueológico de San Agustín, adoptamos la metodología de AR5 del (IPCC, 2014), la cual tiene en cuenta estas afectaciones para la sobrevivencia de la cobertura vegetal muy saludable.

En consecuencia, para estimar los riesgos, que notamos con R, notamos la variabilidad climática sobre este paisaje que sobrevive en la vereda Mesitas, La Estrella y Nueva Zelanda, las cuales constituye el entorno próximo del Parque Arqueológico, siguiendo el modelo en la siguiente figura 53.

Figura 53. Modelos para estimar riesgo variabilidad climática



fuentes IPCC 2014.

9.1. ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y EXPOSICIÓN

La vulnerabilidad que afecta a la población y al paisaje, o zona de vida, se entiende como *inflexibilidad* o incapacidad para adaptarse a ese cambio, que para la comunidad afectada constituye un riesgo. La vulnerabilidad determina la intensidad de los daños y es una expresión del equilibrio entre: sensibilidad, Capacidad de adaptación y exposición, lo cual lo relaciona en la siguiente tabla 9:

Tabla 9. Síntesis de los tipos de riesgos con respecto a los factores

Tipo de riesgo	Grado de Exposición (GE)	Sensibilidad (S)	Capacidad de Adaptación (CA)
Económica	Pequeños propietarios no participan del turismo en la zona.	Pérdida de bosque nativo y crecimiento del material vegetativo muerto.	Variedad de café resistentes a plagas.
Socio-cultural	Pequeños propietarios sin programas para cobertura saludable.	Población sin servicio gas domiciliario.	Edad relativamente joven de los propietarios.
Ambiental	Pérdida de nacaderos y cobertura vegetal.	Vertimiento de aguas servidas a las fuentes hídricas	Dominancia de nuevas variedades de cultivos.

9.2. SENSIBILIDAD DEL SISTEMA

De la figura 18 sobre la percepción que tienen los propietarios de las fincas que habitan este territorio obtenemos los siguientes factores de susceptibilidad:

- El 38% de la vivienda vierte las aguas servidas directamente a las fuentes hídricas.
- El 50% de los hogares no disponen del servicio de gas, es decir usan leña extraída del bosque para cocinar.
- Se reconoce que tan solo 30 de 40 propietarios de fincas no tienen bosques nativos en sus predios, es decir, el 75% carecen de este beneficio ambiental.
- Sobre la cobertura vegetal que se visualiza en la figura 37, en período comprendido entre 2015 y 2020, el material vegetativo muerto creció en un 58%.

Resultando el siguiente estimativo sobre el riesgo de la sensibilidad del sistema a las afectaciones de la variabilidad climática, considerando que los pesos son iguales:

$$C_s = W_{P_1} * S_1 + W_{P_2} * S_2 + W_{P_3} * S_3 + W_{P_3} * S_3 + W_{P_4} * S_4 = \frac{1}{4} * 0.38 + \frac{1}{4} * 0.5 + \frac{1}{4} * 0.75 + \frac{1}{4} * 0.58 = 0,56.$$

9.3. CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN

La capacidad que tiene esta población para atenuar, con prácticas innovadoras, la subsistencia de este sistema agroecológico, aparece en las entrevistas con técnicos de la Federación de Cafeteros de San Agustín, quienes vienen trabajando en esta región desde hace varios años, lo cual está relacionado en la sección 4.1 de este documento; resultando los siguientes indicadores que consideramos igualmente ponderados:

- El 61% de los caficultores tienen cultivadas variedad de café resistente a la roya y por ello no usan agroquímicos.
- El 50% de los propietarios de las fincas son relativamente jóvenes, 57.9 años.

Resultando que el estimativo de la población tiene nuevas capacidades de adaptación:

$$C_a = W_{P_1} * C_1 + W_{P_2} * C_2 = (0.5 * 0.61) + (0.5 * 0.5) = 0.55$$

9.4. ESTIMATIVO DE LA VULNERABILIDAD

Teniendo en cuenta que la sensibilidad tiene 4 factores y la adaptación de tiene 2, resulta $\frac{1}{6}$ como factor de ponderación, resultando el siguiente índice de vulnerabilidad, dado que la adaptación tiene signo contrario a la sensibilidad:

$$I_v = W_{P_1} * C_s - W_{P_2} * C_a = \frac{4}{6} * 0.56 - \frac{2}{6} * 0.55 = 0.37 - 0.18 = 0.19$$

9.5. EXPOSICIÓN DEL SISTEMA

La población y el paisaje están *expuestos* a riesgos, que se expresan en términos de una amenaza o probabilidad, según el IPCC 2014 se calcula teniendo en cuenta lo descrito en la figura 19 de este documento. resultando los siguientes tres indicadores para la exposición del sistema, que son:

- El 75% de los dueños de fincas no reconocen la importancia de conservar nacedores o fuentes de agua, con un peso del 50%
- El 50% son pequeños propietarios y no tienen bosques nativos, con un peso del 25%
- De la figura 38 registra un decrecimiento del 40% del bosque saludable, con un peso del 25%

El cálculo de la exposición es el siguiente:

$$I_E = W_{P_1} * E_1 + W_{P_2} * E_2 + W_{P_3} * E_3 = \frac{1}{2} * 0.75 + \frac{1}{4} * 0.5 + \frac{1}{4} * 0.4$$

$$= 0.375 + 0.125 + 0.1 = 0.6$$

9.6. INDICE DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE LA ZONA DE VIDA

Este índice mide el *riesgo* o probabilidad derivada del fenómeno de la variabilidad climática. Para ello primero estimamos *el peligro* de este fenómeno climático teniendo en cuenta lo que se deriva del capítulo 6 sobre las simulaciones de la variabilidad climática a partir de los datos otorgado por el IDEAM.

En efecto en las figuras 29 al 31 se registra una variación importante de temperatura correspondiente a los años de 2016 a 2017, pasando de 17.353°C a 19°C, esto es una variación del 10%. En efecto ese año se considera que el fenómeno del *niño* afectó significativamente al Macizo Colombiano, la entropía registrada en la figura 30 así lo confirma.

También en la figura 35 correspondiente a la variación de las lluvias durante los años de 2008 al 2011 corresponde a un incremento del 25%, al pasar el volumen de 1598 mm a 2002 mm; además la figura 36 sobre la entropía de las precipitaciones tiene una tendencia negativa, según los datos del IDEAM correspondiendo ese periodo de tiempo correspondió al denominado fenómeno de la *niña* en el Macizo Colombiano, la misma gráfica muestra esta tendencia para el año 2020.

En la sección 8.2 se realizan simulaciones dinámicas con NETLOGO que se visualizan en las figuras 47 al 52, incluyendo diversas condiciones iniciales para la reforestación con bosque saludable. Entonces dado que esta región tiene una tendencia hacia las bajas temperaturas y encharcamientos, asumimos como índice de peligro de la variabilidad climática es del 25%, $I_p = 0.25$. Entonces el estimativo del riesgo de vulnerabilidad es el siguiente:

$$R = \text{Riesgo} = \text{Peligro}(\text{vulnerabilidad} + \text{exposición}) = 0.25 * (0.19 + 0.6) = 0.20 =$$

20%.

Adoptando como tabla 10 tabla de categorías para estos riesgos, resulta un riesgo medio bajo, que no deja de ser significativo dada que la zona de estudio es potencialmente ecoturística y protege el un patrimonio cultural de la humanidad.

Tabla 5. Tabla de categoría

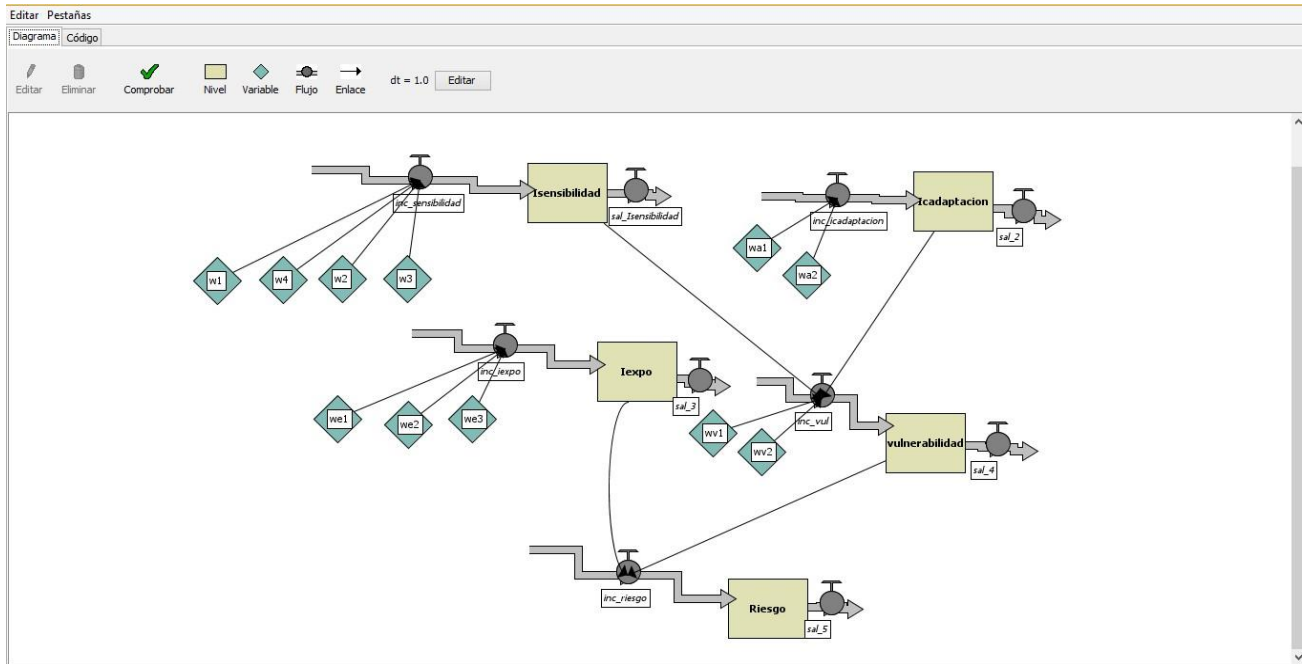
RIESGOS	
CATEGORÍAS	RANGO
Baja	$0 \leq p < 0.2$
Baja media	$0.2 \leq p < 0.4$
Media	$0.4 \leq p < 0.6$
Media Alta	$0.6 \leq p < 0.8$
Alta	$0.8 \leq p \leq 1$

Y como capítulo final se determina que el clima sobre el territorio del macizo colombiano, así como de los fenómenos atmosféricos en esta parte de la región, donde se localiza la zona de estudio, se determina un Índice de Riesgo Baja media.

9.7. DINÁMICA PARA ESCENARIOS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

La expresión correspondiente al índice de vulnerabilidad, variando los pesos en dicha formulas podemos obtener un diagrama de sistema que oriente la comunidad de las veredas Mesitas, La Estrella y Nueva Zelanda para la decisiones que conduzca a la sostenibilidad ambiental de este paisaje, según se adopte planes y programas interrelacionando voluntades de las organizaciones que existen en la comunidad y las instituciones del estado que tiene como fin de sostener con cobertura muy saludable el entorno del parque Arqueológico de San Agustín. Resulta la siguiente representación para escenarios futuros:

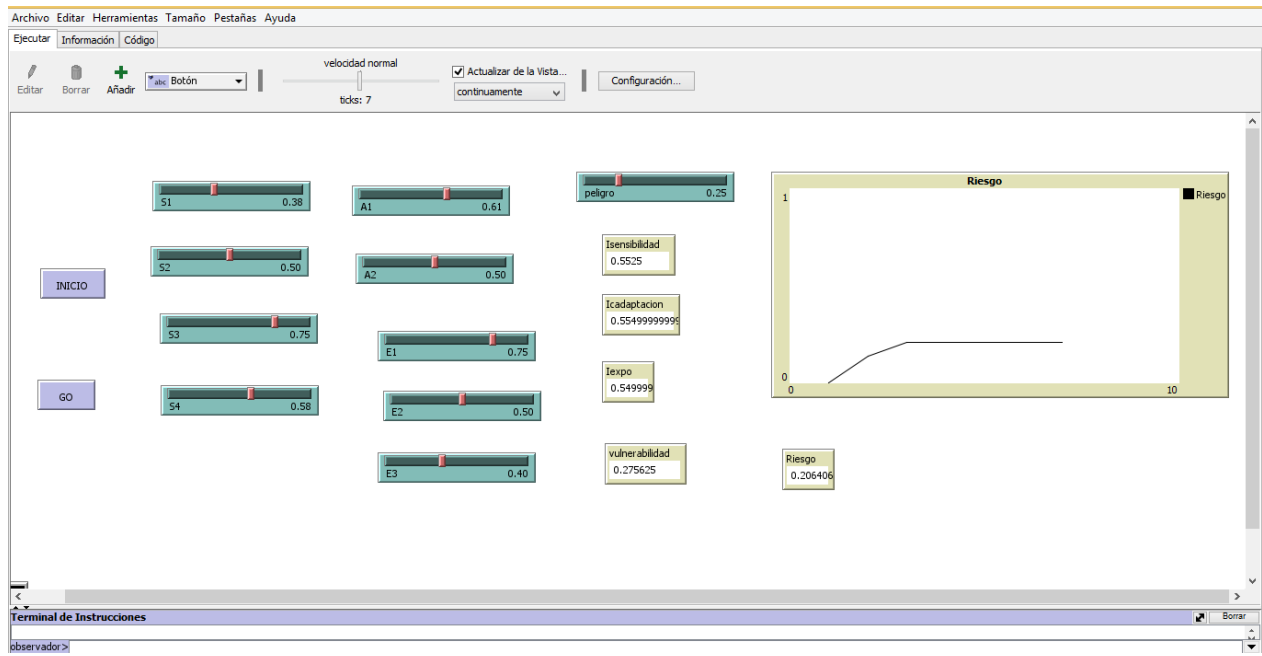
Figura 54. Diagrama del Sistema dinámico del Índice de Vulnerabilidad



Fuente Dinamica de sistema en Netlogo, Autor

La siguiente grafica obtenida en el programa Netlogo muestra las variaciones del indice de vulnerabilidad, según se modifique los pesos involucrados. Esta representacion es util para la toma de decisiones sobre la sostenibilidad ambiental del paisaje si se deja unos pesos fijos en la medida que se varian los otros que consideramos mas significativos.

Figura 55. Sistema dinámico por NetLogo



Autor

CONCLUSIONES

- Las simulaciones nos sirven para aproximar la evolución antrópica y climatológica a partir de las validaciones de modelos y estimación de parámetros para tomar de decisiones con base en las proyecciones futuras observadas en las simulaciones sobre la variedad climática, R-PROJET y la cobertura vegetal, QGIS. Con la modelización basada en agentes, MBA, se puede visualizar escenarios futuros variando el albedo el grado de deforestación, siembra de árboles nativos, porque la variabilidad climática incide en la sostenibilidad del paisaje.
- La zona de vida está migrando de tener vocación agropecuaria, en particular debida al cultivo del café, a ser una zona ecoturística amenazando el bienestar relativo que tienen los pequeños propietarios. En el estudio de cobertura del suelo realizado con imágenes satelitales en el capítulo siete de este proyecto, se observa que entre los años 2015 y 2020 se ha incrementado el área de cobertura con material muerto, además este tipo de cobertura aparece incrementándose hasta el año 2025. Lo que significa que, para sostener el paisaje los proyectos ecoturismo en la zona de estudio debe implementar planes de siembra de bosque nativos.
- Este proyecto evidencia el trabajo aislado en la toma de decisiones de los agentes que intervienen para la sostenibilidad del paisaje, a mediano y largo plazo, en el entorno próximo que rodea el parque Arqueológico de San Agustín; esto agentes son la población residente organizada entorno a las juntas comunales, Comité de Cafeteros, El Cabildo Indígena, instituciones gubernamentales como la Alcaldía del municipio de San Agustín, el ICANH y la CAM.
- El índice de vulnerabilidad a la fecha esta en la categoría medio baja, significa que los agentes implicados aún pueden tomar decisiones que conduzcan al sostenimiento pleno de la cobertura muy saludable. Pero si las entidades públicas y privadas que intervienen no establecen programas de recuperación de la cobertura vegetal muerta registrada en el estudio satelital, la tendencia es hacia un deterioro de la cobertura vegetal muy saludable. Esto a su

vez afecta a la sostenibilidad al parque Arqueológico, como ya es evidente el deterioro observado en la fuente hídrica de las Lavapatas y a mediano plazo este patrimonio Cultural de las Naciones Unidas, reconocido por la UNESCO, puede verse afectado gravemente.

- El índice dinámico de Riesgo sobre la vulnerabilidad climática y antrópica se refiere a las afectaciones en las familias residentes que están poco vinculadas a los servicios ecoturísticos, porque han sido desplazados por foráneos que compran las tierras a un alto costo. Lo que se refleja en abundancia de propiedades menor o igual a una hectárea y sin posibilidad de conservación de bosque nativos muy saludable. A duras penas se siembra café y cultivos pan coger necesarios para el sostenimiento básico de las familias.

De estas conclusiones se recomienda que la comunidad organizadas entorno a las juntas de acción comunales, cabildo indígena, la administración municipal, institución como las CAM, el INCAH y gremios como el Comité de Cafeteros de San Agustín, creen un plan articulado tendiente a la sostenibilidad del paisaje, y sus interrelaciones con las gentes que los sostienen como la conservación de las fuentes hídricas evitando vertimientos de aguas servidas y de sus cultivos, entorno constituido por las veredas Mesitas, La Estrella y Nueva Zelanda.

Bibliografía

- (s.f.). Obtenido de • www.sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/informe-de-la-onu-sobre-uso-de-la-tierra-y-su-efecto-en-el-clima/45293
- 1931, L. 1. (1931). Por la cual se fomenta la conservación de los monumentos arqueológicos de San Agustín. Bogotá.
- 2014, I. (2014). Cambio climático 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Buenos Aires: Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Agustín, A. d. (2009). Historia de San Agustín. Inventario Turístico y Cultural, 13.
- Alteri, Miguel A. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones al cambio climático. Lima, Perú: Redagress.
- Álvarez, M. P., Bateman, C., Quintero, I., & Ramírez, P. (2007). Plan de manejo del parque arqueológico de. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología e.
- Angel Oviedo, O. (2015). Impactos del Cambio Climático sobre la distribución geográfica de las zonas de vida de holdridge en el departamento del Huila, Colombia. Neiva, Huila: Universidad Surcolombiana.
- BID. (2013). Aquad Evaluación de riesgo agroclimático. New York: IDEAM-FONADE.
- BID. (2019). Índice de Riesgo al Cambio Climático en la ciudad de Piura en Perú. Bogotá D.C: Universidad Javeriana.
- Bonilla Ramírez, A. F. (2019). Elaboración plan de manejo socio-ambiental actividad ecoturística Parque Arqueológico Alto de los Idolos. Bogotá: Universidad El Bosque.
- Briceño Valera, F. (2003). Las cadenas de Markov en el análisis de cambios y asignación de usos de la tierra. Revista Geográfica Venezolana, 46(1), 35 -45.
- Brown, D. (2008). Spatio Temporal model Shifting cultivation and forest cover. Dynamical Environmental Development Economic , 643-671.
- Castella, J. (2005). Combinig top-down and botton-up modelling approaches of land use. Science Direct Land Use Policy, 531-545.
- Cenicafé. (2011). Variabilidad Climatica y la floración del café en Colombia. Programa de investigación científica Fondo Nacional del Café.
- Climate Data Org. San Agustín clima. (s.f.). Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/huila/san-agustin49676/#:~:text=San%20Agust%C3%ADn%20tiene%20un%20clima,de%20lluvia>

%20durante%20el%20a%C3%B1o.&text=La%20temperatura%20promedio%20en%20S an,de%201709%20mm%20al%20a%C3%B1o.

Climático, I. I. (2012). Guía Metodológica para la evaluación de la Vulnerabilidad ante el cambio climático. México D.F.: SEMARNAT.

Complutense, U. (2013). Modelización con datos. España: Universidad Complutense de Madrid.

Eastman, J. R. (2014). IDRISI Kilimanjaro Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes. Córdoba: Clark Labs.

FAO. (1997). México: FAO.

Ferber, J. (1995). Les Systemes Multi Agents. Paris: Addison Wesley reading.

Gavier, G. P. (2018). Modelos del paisaje y región . Universidad de Buenos Aires.

Gonzaga Aguilar, C. (2014). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat ETM+Y ASTER para las características de cobertura vegetal. Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata.

H, M. (s.f.). ¿Qué es NetLogo? Obtenido de <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/resources/Que%20es%20NetLogo.pdf>

Hennessey, G. M. (2012). La reacción tribal ante el cambio climático. InterThesis.

Historia, I. C. (s.f.).

IDEAM. (2002). Sistema de Información Ambiental de Colombia-SIAC. Bogotá D.C.: Ideam.

IDEAM. (2019). Boletim Agroclimático. Bogotá D.C.: Ideam.

IDEAM características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos. (s.f.). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>

IPCC. (2007). Cambio Climático 2007, Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de Evaluación del panel intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Ginebra, Suiza: WMO/UNEP.

IPCC. (2014). Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Ginebra, Suiza: IPCC.

Lancis. (s.f.). Modelación basada en agentes. Obtenido de https://lancis.ecologia.unam.mx/iai/modelacion_agentes#:~:text=La%20Modelaci%C3%B3n%20Basada%20en%20Agentes,la%20evoluci%C3%B3n%20de%20un%20sistema.&text=Un%20agente%20constituye%20la%20unidad,un%20hogar%2C%20o%20una%20organizaci%C3%B3n.

- Lara Ballesteros, D. C. (2017). Determinación de cambios de distribución de especies por efectos del cambio climático en el parque municipal natural campo alegre y Parque Regional Natural Ucumari en Risaralda Colombia. Bogotá: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Lasso Valderrama, D. P., & Nelly Yunda, D. (2017). Evaluación y seguimiento al Plan de Ordenación y manejo de la microcuenca Quebrada el “Quebradón” San Agustín Huila. Pitalito, Huila: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Leff, E. (2012). Pensamiento ambiental latinoamericano: patrimonio de un saber para la sustentabilidad. Universidad Autonoma de Mexico.
- Magdalena, C. A. (2014). Plan de Cambio Climático Huila 2050: Preparándose para el cambio climático. Neiva: Eco Prints Diseño Gráfico y Audiovisual Ltda.
- Mann, M. G. (2003). El Quark y el Jaguar, aventuras de lo simple a lo complejo . Barcelona : Matatemás.
- NERCO-MAPPA-METEOSIM. (2019). Índice de Riesgo al Cambio Climático. Bogotá: LAIF de la Unión Europea, CAF - Banco de desarrollo de América Latina y AFD-Agencia Francesa de Desarrollo.
- Olaya Amaya, Alfredo. (2003). Ecosistemas estratégicos del Huila. Neiva: Universidad Surcolombiana.
- Olaya Amaya, A., & Sanchez Ramírez, M. (2005). Del macizo Colombiano al Desierto latatacoa, La ruta del río Magdalena en el Huila. Neiva: Surcolombiana.
- Olivares, B. O.-B. (2019). Índice de vegetación de diferencia Normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela. Uned Research Journal , 112-121.
- Perdomo Quesada, K. Y., & Polania Pérez , P. (2019). Dinámica para la sostenibilidad y resiliencia del humedal. Neiva, Huila: Universidad Surcolombiana.
- Piamba Valdes, M., & Delgado Joven, B. (2017). Influencia de las condiciones climáticas; altitud, lluvia, temperatura, humedad relativa, brillo solar; en la calidad de taza de café variedad castillo en el municipio de San Agustín. Neiva, Huila: Universidad Surcolombiana.
- Pita Merino, L. (2007). Implementación de un modelo dinámico. España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- PNUD. (2005). Marco de políticas de adaptación al cambio climático. New York: GEF.
- PNUD. (2013). Programa de Naciones Unidas para Colombia. Bogorá D.C.: www.pnud.org.co.
- Preuss, K. T. (21 de 09 de 2020). Alcaldía de San Agustín. Obtenido de <http://www.sanagustin-huila.gov.co/municipio/fundaciones-de-san-agustin>

- QGIS. (2019). QGIS Sistema de información Geográfica. <http://ggis.org>: Proyecto de Fundación Geoespacial de código abierto.
- Quintero Ardila, M. M., & Arroyo Morales, L. (2021). Modelo basado en agentes de los impactos de la pandemia Covid-19 en el ecosistema Desierto de La Tatacoa. Neiva, Huila: Universidad Surcolombiana.
- Reyes Gómez, D. A. (25 de Agosto de 2011). Descripción y aplicaciones de los autómatas celulares. FES Acatlán. Obtenido de Fernando Sancho Caparrini: http://delta.cs.cinvestav.mx/~mcintosh/cellularautomata/Summer_Research_files/Arti_Ver_Inv_2011_DARG.pdf
- Rodríguez J, N. M. (2007). Proyecto de Gestión Local. Parque arqueológico de San Agustín y Alto de. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología e Historia.
- Rodríguez Zoya, L. G., & Roggero, P. (2015). Modelos basados en agentes: aportes epistemológicos y teóricos para la investigación social. scielo México.
- Rouse Haas, S. y. (1973). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Maryland : TEXAS A&M UNIVERSITY.
- Santos Rocha, A. C. (2010). Implementación de un modelo de Autómata Celular para él. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.
- Scherer. (1972). Aplicación de cadenas de Markov a la sedimentación cíclica de la formación oficina. Boletín de Geología. Ministerio de Minas e Hidrocarbones, Special Publication,, (págs. 1785-1822).
- Serrano Vasquez, C. E. (2016). Intereses, motivaciones y su importancia en el desarrollo de un turismo cultural sostenible. Turismo y patrimonio cultural, 561-564.
- Tovar Ospina, N. (2018). Impacto generado a la identidad de la comunidad Indígena Yanacona por el turismo en el Parque Arqueológico en el municipio de San Agustín (Huila). Neiva, Huila: Universidad Surcolombiana.
- Tovar Suarez, N. L., & Orjuela Ortiz, C. A. (2017). Determinación de acidez del agua lluvia y las condiciones meteorológicas asociadas, en el parque arqueológico de San Agustín, Huila. Bogotá: Universidad de La Salle Ciencia Unisalle.
- U., W. (1999). Lenguaje de programación Netlogo. Obtenido de ccl.northwestern.edu/netlogo
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2004). Indicadores para la Caracterización y Ordenamiento del Territorio. México D.F.
- Uribe Mendoza , C., & Castro Borràs, F. (2014 - 2018). Plan de Manejo Arqueológico. Instituto Colombiano de Antropología e Historia, 74 - 77.

Villalba Corredor , L. S., & Malagón, A. (2011). Biodeterioro de la fuente de Lavapatatas, parque arqueológico de San Agustín-Huila. Colombia. Ge-conservación, 65-80.

Y.T., S. P. (2015). Modelo de simulación para el proceso del calentamiento global, aplicación ciudad de Cartagena de Indias. Bogotá D.C: Tesis Universidad Católica de Colombia.

ANEXOS

Anexos A. Arboles nativos de San Agustín



Ingeniera:
ANDREA ORTIZ MUÑOZ
 Apoyo Ambiental a la Secretaría de Planeación Territorial y Desarrollo Económico
 Alcaldía San Agustín
 Correo electrónico: amaa@sanagustin-huila.gov.co
 CLL 3 CRA 12 ESQUINA-PALACIO MUNICIPAL
 SAN AGUSTÍN, HUILA

Asumo: Respuesta radicado CAM N° 20203400011908 y 20203400127202 del 19 y 20 de agosto de 2020.

Respetada Ingeniera, Andrea;

En atención al asunto de la referencia, en el cual requiere información sobre material vegetal nativo para dar cumplimiento a las metas del Plan de Desarrollo "San Agustín nos une"; mediante la participación de la convocatoria del Ministerio del Interior en el programa "HOJITAS COMUNALES", el cual tiene como objetivo incentivar la reforestación de los territorios; actividad que resaltamos y exhortamos participar de la mejor manera.

Ahora bien, con relación a lo requerido, es importante considerar las áreas que van a ser reforestadas teniendo en cuenta los pisos térmicos para el establecimiento de los árboles de la mejor manera; teniendo en cuenta estas condiciones se pueden sugerir algunas especies que se pueden considerar así:

	Nombre común	Nombre científico
Protectoras	Chañava	<i>Stenobolus angustifolia</i>
	Laural - Comino	<i>Artibe peruviana</i> Hemsl
	Roble	<i>Quercus turbinata</i>
	Arboloco	<i>Smilanthus pyramidalis</i>
	Siete cuernos	<i>Tibouchina lepidota</i>
	Pino Comunalino	<i>Podocarpus neriifolius</i>
	Arceute	<i>Bixa orellana</i>
	Balso blanco	<i>Heliocarpus americanus</i> sin. <i>H. popayanensis</i>
	Orace	<i>Croton magdalenensis</i>
	Nuevofloro	<i>Persea rigida</i>
Punta de lanza, carote	<i>Vismia baccifera</i> subsp. <i>Femuginea</i>	
Comerciales	Nandefloro	<i>Tibouchina gigantea</i>
	Cedro rosado	<i>Cedrela odorata</i>
	Cedro Negro	<i>Cedrela montana</i>
	Nopal Cafetero	<i>Cordia alliodora</i>
	Tachuelo, doncel	<i>Genthoosum rotifolium</i> Lam
Dentroenergéticas	Carbonero	<i>Calliandra pittieri</i>
	Guano	<i>Ipag. sp.</i>
	Lluçueño	<i>L. guacana leucocophala</i>
	Carbonero	<i>Calliandra pittieri</i>
	Chachafrito	<i>Fragaria chusa</i>
Balso blanco	<i>Heliocarpus americanus</i> sin. <i>H. popayanensis</i>	

Condialmente,



CARLOS ANDRÉS GONZÁLEZ TORRES
Cargo Dirección Territorial Sur



K&L 3031-0010301 Fecha 31.AGO.2020 10:48
 Es. 88AL-32028 Dest. Dep. DTS No. Folio 1
 PRE. DTS. FRENTE. FAX. 8782340
 Desc. Anex: N.A.N. 4810481

Proyecto: Aldemar®, Profesional U.
 Expediente o Radicado: 20203400011908 y 20203400127202
 Medio de Envío: amaa@sanagustin-huila.gov.co

Dirección Territorial Sur
 Finca Manzano Kilómetro 4 vía Pitalito - San Agustín
 Pitalito - Huila (Colombia)
 Teléfono (57) 825 4412
 Correo: convulso@cam.gov.co
www.cam.gov.co

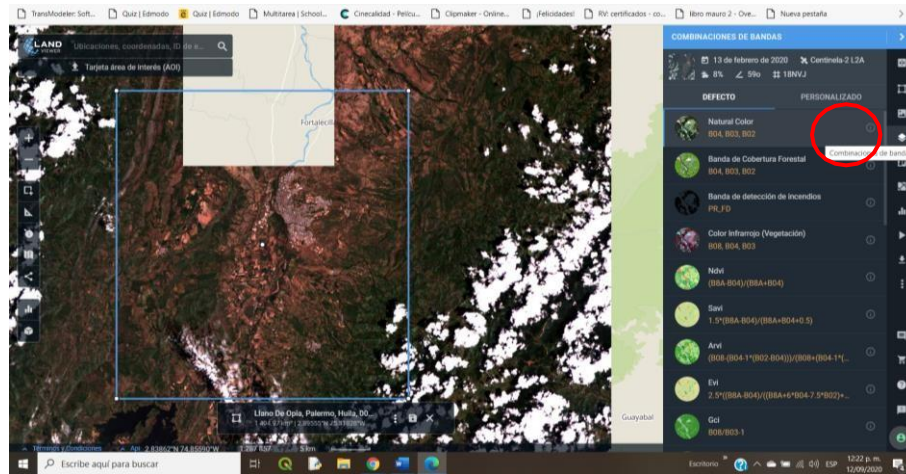




Anexo B. Satélite con Land Viewer.

Land Viewer es herramienta online desarrollada por EOS Inc. (EOS stands for the Earth Observing System), una potente plataforma en la que podemos acceder a una gran cantidad de imágenes de los satélites Landsat 8 y Sentinel-2 de forma gratuita.

Una de las grandes ventajas de este sistema es que nos permite aplicar varios filtros para afinar la búsqueda rápida del producto que nos interese.



Anexo C. Netlogo: Modelización basada en agentes

The image shows the 'Download NetLogo' page from the official website. The page has a green header with the 'NetLogo' logo and a navigation menu on the left. The main content area is white and contains the following text:

Download NetLogo

Most computers can run NetLogo (see [system requirements](#)). If you would like to run NetLogo on a Chromebook or in a web browser, please see if [NetLogo Web](#) will meet your needs.

Multiple versions of NetLogo can be installed on the same computer, installing a new one doesn't remove the old one.

Version: **Versiones**

More versions [here](#).
For help using old models with new versions see the [Transition Guide](#).

Name:

Organization:

E-mail:

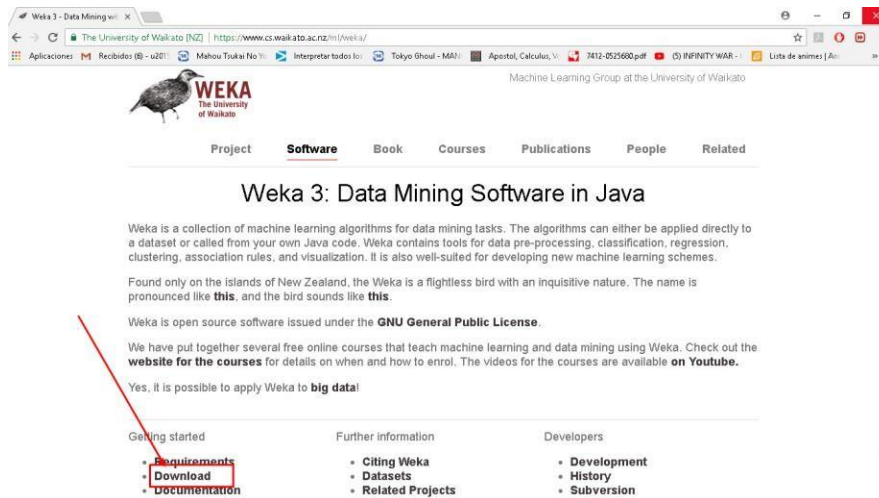
Comments:

We read these but don't respond directly. For a response, write keebago@cs.cmu.edu.

Download

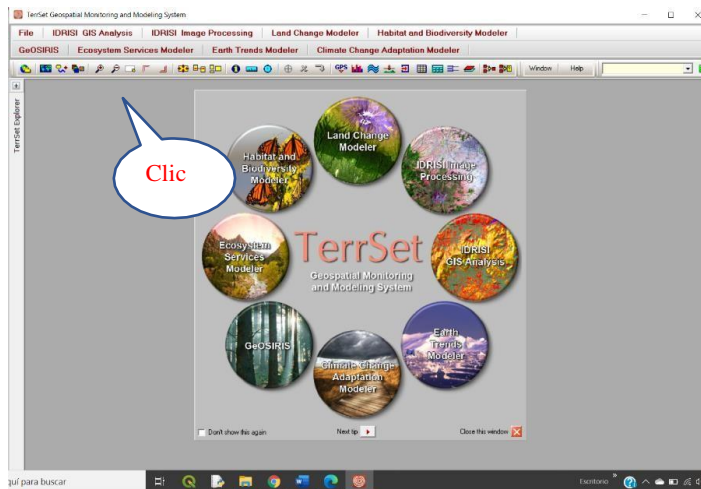
Download trouble? Write bugs@cs.cmu.edu.

Anexo D. Weka: Data Mining

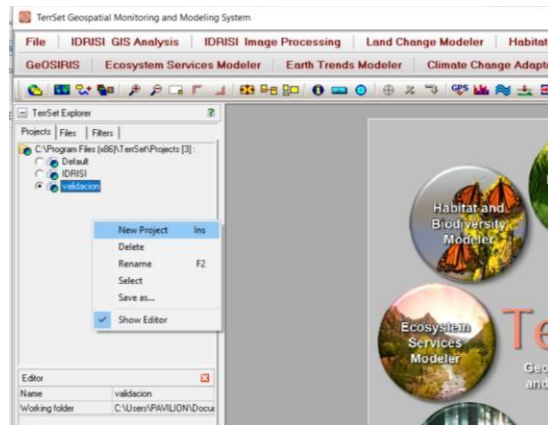


Anexo E. Idrisis Terrset

Como primer paso crear una carpeta donde estén las imágenes en formato ASC y donde se va almacenar el proyecto y las nuevas imágenes. Una vez iniciado IDRISIS aparece lasiguiente ventana.



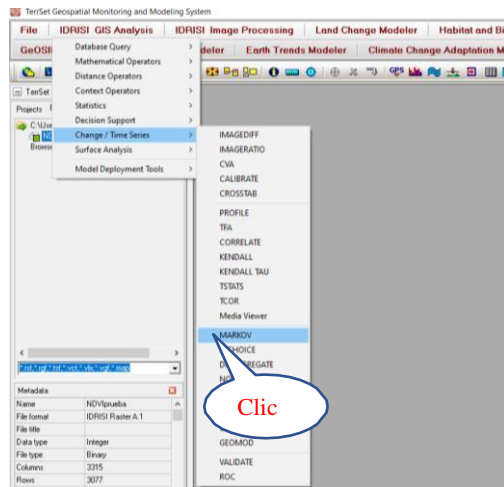
En la nueva ventana sobre el lienzo blanco dar clic derecho y seleccionar "New Project".



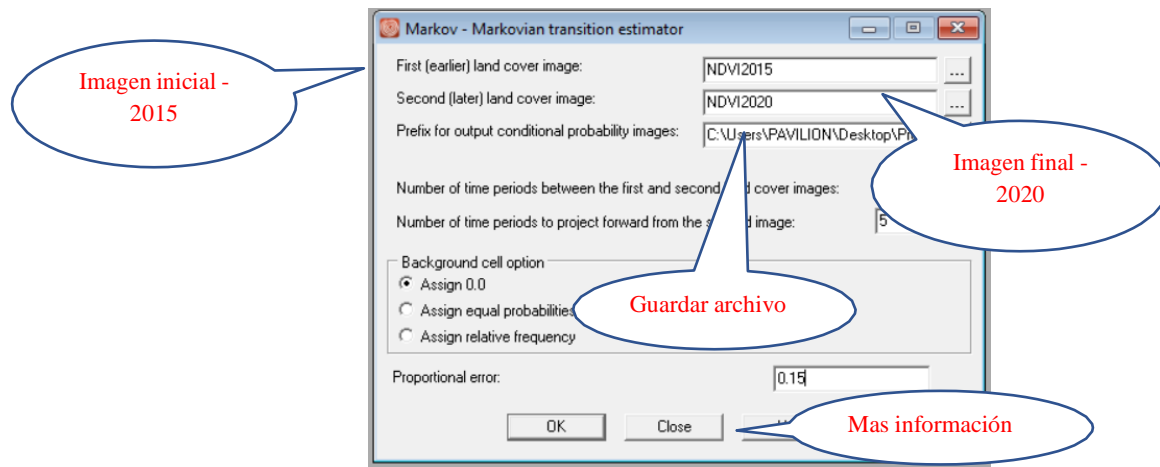
Aparece una nueva ventana donde se a cargar la carpeta que va almacenar el proyecto. Recuerde que en la carpeta de estar las imágenes ráster clasificadas en formato ASC.

Anexo F. Módulo Markov

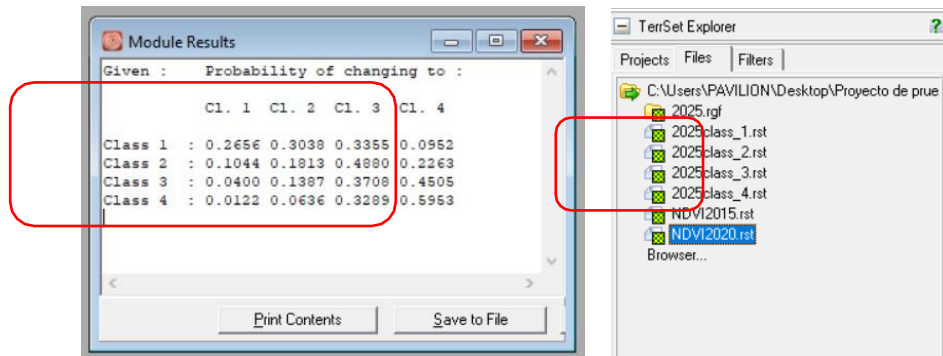
Para hacer uso del módulo de “MARKOV”, en la pestaña “IDRISIS GIS Analysis”, buscamos la opción “Change / Time Series”.



Como ejemplo se tomará una imagen del 2015 y otra del 2020, las dos imágenes están clasificadas con cuatro categorías de coberturas enumeradas del 1 al 4.

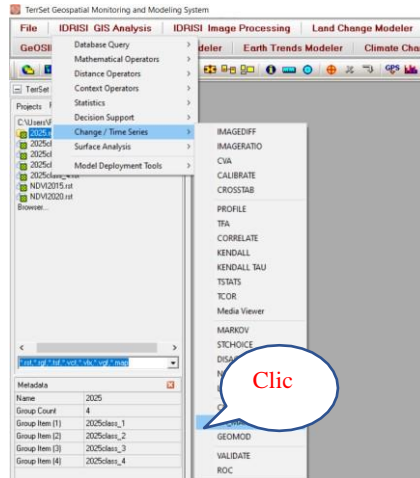


El resultado es una matriz probabilidades de transición, una matriz de área de transiciones y cuatro imágenes.



Anexo G. Módulo Ca_Markov

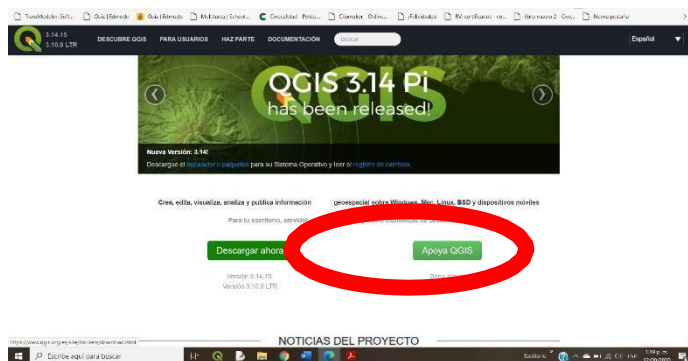
Para hacer uso del módulo de “CA_MARKOV”, en la pestaña “IDRISIS GIS Analysis”, buscamos la opción “Change / Time Series”



Tomando el resultado del módulo de “MARKOV”, lo primero que ingresamos es la imagen del segundo estado (NDVI2020).



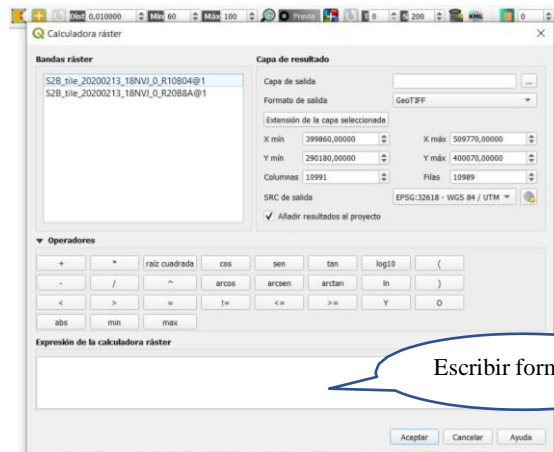
Anexo H. Qgis



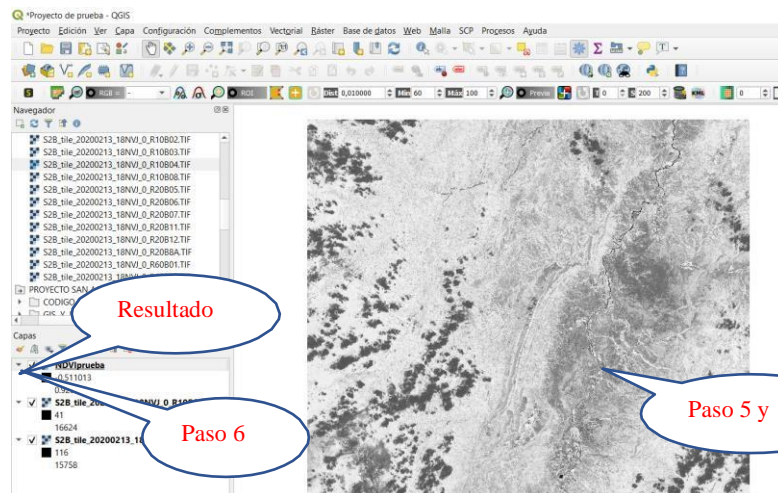
QGIS (Quantum GIS) es un programa de código abierto y gratuito que sirve para visualizar y procesar datos geográficos. QGIS funciona en diferentes sistemas operativos, tales como Windows, Linux y Mac.

Anexo I. Calcular NVD

La Calculadora ráster sirve para combinar las bandas y obtener el NDVI, se debe ingresar la siguiente formula $\frac{B8A - B4}{B8A + B4}$ en “Expresión de la calculadora ráster”.



El resultado es una nueva capa ráster que nos indica el nivel de vegetación normalizado, asignando un valor numérico a cada pixel en un intervalo [-1, 1].



Anexo J. Encuesta aplicada a la población

Proyecto “Estimación del impacto de la variabilidad climática sobre el paisaje del parque arqueológico de san Agustín e interrelaciones con las actividades socioeconómicas de su entorno próximo”.

La encuesta aplicada a una muestra del 35% de la población de propietarios que habitan en las veredas vecinas al parque, la cual tiene las siguientes preguntas:

Encuesta de actividades socio económico en el entorno al Parque Arqueológico de San Agustín.

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA - Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental

Identificación del impacto del cambio climático sobre el paisaje del parque Arqueológico de San Agustín e interrelaciones con las actividades socio económicas de su entorno próximo.

Cordial saludos, muy comedidamente esta encuesta para recolectar información contundente sobre la vulnerabilidad del entorno al parque Arqueológico de San Agustín, agradecemos contestar las siguientes preguntas:

1. Nombres y apellidos

2. Vereda

3. Nombre del predio y extensión aproximada en hectáreas

4. Tipo de actividad
Marca solo un óvalo.
 Agropecuaria
 Turística
 Conservación
 Forestal
 Ganadera
 Otro: _____
5. ¿Cuánto hace que vive en el predio o finca?

6. Cuantos conforman la familia

7. Tienen acueducto
Marca solo un óvalo.
 Veredal
 Urbana
 Propio
 Otro: _____

8. ¿En su propiedad existe bosques nativos o reserva?, cuanto es su extensión en hectáreas

9. ¿Qué tipo de árbol nativo predomina en su predio?

10. Cuenta con algún tipo de cultivo
Marca solo un óvalo.
- Café
 - Lulo
 - Caña de azúcar
 - Aguacate
 - Ganadería
 - Otro: _____
11. Cuenta con servicios públicos ¿sí o no?

12. Con que servicios cuenta
Marca solo un óvalo.
- Energía eléctrica
 - Gas
 - Telecomunicaciones
 - Otro: _____
13. Qué tipo de alcantarillado tienen
Marca solo un óvalo.
- Pozos sépticos Alcantarillado
 - Urbano Drenaje
 - Otro: _____
14. ¿Tienen tratamiento de aguas servidas para la casa o de los cultivos? sí y ¿de qué tipo?

15. ¿Por su predio pasan fuentes de agua o tienen nacederos de agua? si tiene ¿Cuál es su nombre?

16. Como es el estado de las fuentes hídricas

Marca solo un óvalo.

- Excelente
- Buena
- Regular

17. Afectaciones por el cambio climático

Marca solo un óvalo.

- Sequias
- Inundaciones
- Heladas
- Plagas
- Otro: _____

18. Sugerencias para mejorar el entorno.

Agradezco su información, será tenido en cuenta para el estado del parque Arqueológico y en su comunidad.