

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ANÁLISE, PLANEJAMENTO E GESTÃO**  
**AMBIENTAL**

**ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CASTÁN**  
**EM TRUJILLO-VENEZUELA.**

**LISBETH DEL CARMEN SEGOVIA MATERANO**

**UBERLÂNDIA/ MG**  
**2019**

***LISBETH DEL CARMEN SEGOVIA MATERANO***

**ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CASTÁN  
EM TRUJILLO-VENEZUELA.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Geografia.

**Eixos de Pesquisa:** Cartografia e Geoprocessamento.

**Orientador:** Prof. Dr. Jorge Luis Silva Brito.

Uberlândia/MG

**INSTITUTO DE GEOGRAFIA**

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

M425z Materano, Lisbeth Del Carmen Segovia, 1988-  
2019 Zoneamento ambiental para a Bacia Hidrográfica do Rio Castán em  
Trujillo - Venezuela [recurso eletrônico] / Lisbeth Del Carmen Segovia  
Materano. - 2019.

Orientador: Jorge Luis Silva Brito.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Geografia.  
Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.609>  
Inclui bibliografia.  
Inclui ilustrações.

1. Geografia. 2. Zoneamento ambiental. 3. Castán, Rio, Bacia -  
Zoneamento ambiental. 4. Meio ambiente - Trujillo - Venezuela. I. Brito,  
Jorge Luis Silva, 1966- (Orient.) II. Universidade Federal de Uberlândia.  
Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

---

CDU: 910.1

Gerlaine Araújo Silva - CRB-6/1408



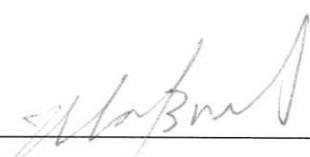
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Programa de Pós-Graduação em Geografia




**LISBETH DEL CARMEN SEGOVIA MATERANO**

“ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA A BACIA HIDROGRÁFICA  
DO RIO CASTÁN EM TRUJILLO-VENEZUELA”

  
\_\_\_\_\_  
Professor Dr. Jorge Luis Silva Brito - UFU

  
\_\_\_\_\_  
Professor Dr. João Donizete Lima – UFG – Catalão - GO

  
\_\_\_\_\_  
Professor Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira – UFU

Data: 11 / 02 de 2019

Resultado: Aprovada

*Dedico este trabalho à minha família, minha base fundamental, fonte de infinito amor e inspiração para ser melhor.*

## AGRADECIMENTOS

À Organização dos Estados Americanos (OEA) e à Universidade Federal de Uberlândia pela oportunidade de cursar o programa de pós-graduação.

Ao professor Dr. Jorge Luis Silva Brito, pela orientação e a confiança.

Aos professores. Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira e Dr. Roberto Rosa pelas valiosas sugestões durante o exame de qualificação.

Ao Professor Dr. Prof. Dr. João Donizete Lima pelas contribuições durante a defesa.

Aos meus professores de português pelo carinho e paciência.

Aos meus professores e alunos da *Universidad de Los Andes* por acreditar em mim.

Aos meus familiares e amigos que desde a distância sempre me brindaram uma palavra de ânimo nos momentos de cansaço.

Aos amigos que fiz nesta caminhada e que compartilharam minhas angustias e alegrias.

*Minha Eterna Gratidão.*

*Um mapa é o maior de todos os poemas épicos. Suas linhas e cores mostram a realização de grandes sonhos.*

Gilbert H. Grosvenor.

## RESUMO

O zoneamento ambiental é um instrumento que auxilia o planejamento e gestão territorial, determinando zonas de características similares com o objetivo de promover alguma função seja ambiental ou produtiva. A pesquisa teve por objetivo propor o zoneamento ambiental como subsídio para o ordenamento territorial da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela. Os cursos de água da mencionada bacia hidrográfica representam as fontes abastecedoras para o município Tujillo, onde se localiza a capital do estado homônimo. Estudos prévios mostram problemas ambientais derivados de atividades socioeconômicas de risco potencial de degradação, associadas tanto à supressão da vegetação, deterioração dos recursos hídricos e contaminação dos solos. Para alcançar o objetivo foram desenvolvidas três etapas, a primeira consistiu num inventário que permitiu caracterizar a área de estudo, logo na segunda etapa: foram realizados os diagnósticos de fragilidade e potencialidade para o qual foi aplicado o Processo de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process* - AHP), que destaca entre as técnicas de Análise Espacial Muticritério (AMC) e que permite obter os pesos relativos para a agregação dos fatores pela Combinação Linear Ponderada (CLP), na última fase metodológica nomeada proposta, a partir do cruze dos mapas prévios, foram delimitadas cinco zonas de manejo: Zonas de ocupação com poucas restrições (15,5%), Zonas de ocupação não consolidada (2,3%), Zonas com potencial para a exploração sob medidas de sustentabilidade (32,1%), Zonas para restauração ecológica (20,7 %) e Zonas de proteção permanente (29,5%).

**Palavras-chave:** Geoprocessamento; Análise Espacial Multicritério; Processo de Análise Hierárquica; Recursos Hídricos.



## RESUMÉN

La zonificación ambiental es un instrumento que auxilia en la planificación y gestión territorial, determinando zonas de características similares con la intención de promover alguna función específica. La investigación tuvo por objetivo proponer la zonificación ambiental como subsidio para el ordenamiento territorial en la cuenca del río Castán en el estado Trujillo-Venezuela. Los cursos de agua de la mencionada cuenca hidrográfica representan las fuentes abastecedoras para el municipio Trujillo, que es donde se localiza la capital del estado homónimo. Estudios preliminares muestran problemas ambientales derivados de actividades socioeconómicas de riesgo potencial de degradación, asociados tanto a la destrucción de la cobertura vegetal y a la explotación inadecuada de los recursos suelo y agua. Para alcanzar el objetivo fueron ejecutadas tres etapas, la primera fue un inventario que permitió caracterizar el área de estudio; en la segunda etapa fueron realizados los diagnósticos de fragilidad ambiental e potencialidad del territorio, aplicando Matrices de Jerarquización Analítica (MJA), estas destacan entre las técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) y permiten obtener los pesos relativos para la superposición de los factores por medio de una Sumatorio Lineal Ponderada (SLP), en la última fase metodológica denominada propuesta, a partir del curso de los mapas previos, fueron delimitadas cinco zonas de manejo: Zonas de ocupación con pocas restricciones (15,5%), Zonas de ocupación no consolidada (2,3%), Zonas con potencial para producción bajo medidas de sustentabilidad (32,1%), Zonas para la restauración ecológica (20,7%) e Zonas de protección permanente (29,5%).

**Palabras clave:** Geoprocesamiento; Evaluación Multicriterio; Matriz de Jerarquización Analítica; Recursos Hídricos.

## LISTA DE QUADROS

Quadro		Pag.
1	Fontes de dados e mapas temáticos gerados.....	34
2	Chave de Interpretação para obter o mapa de uso da terra e cobertura vegetal nativa.....	36
3	Dados e Distribuição das estações meteorológicas tomadas em consideração na construção do mapa de precipitações.....	37
4	Validação mediante vistas em loco.....	52
5	Matriz de Comparação Pareada suporte do AHP para o diagnóstico de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.....	64
6	Matriz de Comparação Pareada suporte do AHP para o diagnóstico de potencialidade do território da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.....	64
7	Pesos finais por ordem decrescente de importância para o diagnóstico de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela (numéricos e em porcentagem) .....	65
8	Pesos finais por ordem decrescente de importância para o diagnóstico de potencialidade do território da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela. (numéricos e em porcentagem) .....	65
9	Matriz comparativa normalizada do grupo de critérios relativos ao diagnóstico de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela com o cálculo de autovetores e eigen principal ( $\lambda_{Max}$ ). .....	66
10	Matriz comparativa normalizada do grupo de critérios relativos ao diagnóstico de potencialidade do território da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela com o cálculo de autovetores e eigen principal ( $\lambda_{Max}$ ). .....	66
11	IC para os dados relacionados ao diagnóstico de fragilidade ambiental e para o diagnóstico de potencialidade do território da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.....	67
12	RC para os dados relacionados ao diagnóstico de fragilidade ambiental e	

para o diagnóstico de potencialidade do território da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.....	67
---	----

### LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Pag.</b>
1	Fluxograma dos procedimentos metodológicos gerais.....	32
2	Fluxograma geral dos procedimentos metodológicos do zoneamento ambiental.....	42
3	Dobra Geológica Peñas Altas.....	51

### LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>		<b>Pag.</b>
1	Escala de medição para critérios binários do AHP proposto por Saaty.....	40
2	Índices aleatórios para matrizes proposto por Saaty, para o AHP.....	41
3	Quantificação das áreas hipsométricas.....	43
4	Quantificação das áreas de relevo segundo os percentuais de declividade...	45
5	Quantificação das formas geomorfológicas.....	48
6	Quantificação das Formações geológicas.....	50
7	Quantificação dos tipos de cobertura e uso da terra. ....	52
8	Quantificação e características dos solos. ....	56
9	Quantificação da população presente na bacia hidrográfica do rio Castán....	61
10	Quantificação dos distintos níveis de fragilidade ambiental para a bacia do rio Castán. ....	69
11	Quantificação dos distintos níveis de potencialidade para a bacia do rio Castán.....	69
12	Quantificação das zonas ambientais para a bacia do rio Castán.....	75

### LISTA DE MAPAS

<b>Mapa</b>		<b>Pag.</b>
1	Localização da bacia hidrográfica do rio Castán.....	18
2	Hipsometria da bacia hidrográfica do rio Castán.....	44
3	Declividade da bacia hidrográfica do rio Castán.....	46

<b>4</b>	Sub-bacias e ordem das drenagens na bacia hidrográfica do rio Castán.....	47
<b>5</b>	Unidades Geomorfológicas da bacia hidrográfica do rio Castán.....	49
<b>6</b>	Unidades geológicas da bacia hidrográfica do rio Castán.....	53
<b>7</b>	Uso da terra e cobertura vegetal nativa na bacia hidrográfica do rio Castán..	54
<b>8</b>	Solos da bacia hidrográfica do rio Castán. ....	57
<b>9</b>	Precipitações na bacia hidrográfica do rio Castán. ....	59
<b>10</b>	Temperatura na bacia hidrográfica do rio Castán.....	60
<b>11</b>	Densidade demográfica na bacia hidrográfica do rio Castán.....	62
<b>12</b>	Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Castán.....	70
<b>13</b>	Potencialidade da bacia hidrográfica do rio Castán.....	71
<b>14</b>	Zoneamento ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán.....	73

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	15
1.1- Considerações Iniciais .....	15
1.2- Problematização .....	16
1.3-Objetivos.....	17
1.3.1-Objetivo geral .....	17
1.3.2-Objetivos específicos .....	17
1.4-Localização da área de estudo.....	17
1.5-Justificativa .....	19
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1- A bacia hidrográfica como unidade base na ordenação e gestão do território. ....	21
2.2- Zoneamento Ambiental: importância no marco da ordenação do território, sua relação com a fragilidade ambiental e o desenvolvimento sustentável. ....	23
2.3- Geotecnologias ao serviço do Zoneamento Ambiental. ....	27
2.4- Análise Espacial Multicritério e Processo de Análise Hierárquica na tomada de decisões.....	30
MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1- Procedimentos Metodológicos.....	32
3.2 Primeira Etapa: .....	33
3.2.1- Inventário .....	33
3.3- Segunda Etapa:.....	38
3.3.1 - Elaboração dos diagnósticos de fragilidade ambiental e potencialidade do território. ....	38
3.3.1.1- Normalização das Camadas.....	39
3.3.1.2- Ponderação/ Integração .....	39
3.4- Teceira Etapa: .....	41
3.4.1- Definição do Zoneamento Ambiental.....	41
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO / INVENTÁRIO .....	43
4.1. Aspectos Físicos .....	43
4.1.1- Hipsometria .....	43
4.1.2-Declividade.....	45
4.1.3- Sub-bacias e rede de drenagem .....	45
4.1.4- Unidades Geomorfológicas .....	48

4.1.5- Unidades Geológicas.....	50
4.1.6- Uso da terra e cobertura vegetal nativa .....	51
4.1.7- Solos.....	55
4.2- Aspectos climáticos.....	57
4.2.1- Precipitações.....	58
4.2.2 Temperatura.....	58
4.3- Aspectos populacionais .....	61
4.3.1- Distribuição da população .....	61
RESULTADOS E ANÁLISE.....	63
5.1- Diagnósticos de fragilidade ambiental e potencialidade do território.....	63
5.2- Proposta: zoneamento ambiental para a bacia hidrográfica do rio castán.....	72
5.2.1- Zonas de manejo propostas .....	72
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	76
REFERÊNCIAS .....	78

## INTRODUÇÃO

Aborda-se a seguir as questões introdutórias que contextualizam a pesquisa; assim como, o problema de estudo com sua pergunta orientadora, o objetivo geral e os objetivos específicos a localização da área de estudo e a justificativa, deste modo o leitor pode ter uma visão geral da investigação.

### 1.1- Considerações Iniciais

A fragmentação dos ecossistemas naturais desencadeados continuamente pela ação antrópica com fins econômicos é o principal responsável pelas alterações ambientais. Diante disso, as rápidas e constantes mudanças da cobertura vegetal, bem como as mudanças do uso do solo e as alterações não planejadas dos espaços naturais, merecem uma atenção especial para controlar e minimizar a degradação dos recursos hídricos, os quais podem acarretar efeitos negativos sobre a biodiversidade e também sobre a disponibilidade de água.

A Venezuela apresenta problemas ambientais de diferentes conjunturas, principalmente relacionado às bacias hidrográficas. O trabalho de Landazábal (2005), a título de ilustração, descreve que os corpos de água no país estão com crescentes problemas de contaminação provocados pelos processos de urbanização e industrialização acelerada. Somam-se a essa questão as estações de seca que comprometem o abastecimento de água potável em alguns meses do ano, especificamente entre outubro e março.

O estudo de Martín et. al. (2013), por sua vez, adverte, sobre a necessidade de controlar as ocupações em áreas ambientalmente protegidas, já que elas atentam contra a preservação dos processos ecológicos essenciais, seus fenômenos evolutivos, a flora, e a fauna. Apesar de certo caráter de urgência, poucas ações efetivas foram realizadas para a proteção das áreas naturais. Em complementação, a construção de vias de acesso e o avanço da fronteira agrícola tornaram-se a principal ameaça à biodiversidade ao fragmentar o ambiente e expor zonas antigamente conservadas.

Nos Andes Venezuelanos, a cobertura vegetal tem diminuído de maneira acelerada, transformando florestas e páramos (campo situado nas terras altas dos Andes Sul-americanos) em áreas agrícolas e áreas de pastagens, também sendo estas utilizadas para o desenvolvimento de assentamentos humanos (BUITRAGO, et al. 2012). As consequências do uso inapropriado das terras nestas regiões trarão resultados desastrosos, em virtude de que são nas áreas das altas

cordilheiras onde se localizam as nascentes dos rios, cuja fragilidade dos ecossistemas demorarão muito tempo para recuperar seu equilíbrio natural.

No estado Trujillo são comuns os problemas ambientais relacionados com a disposição dos resíduos sólidos, desmatamentos e uso desproporcional de agrotóxicos. Especificamente a bacia do rio Castán, está submetida a múltiplos impactos ambientais, às vezes associados ao desmatamento prévio à criação de áreas para urbanização que incluem de vias agrícolas pouco planejadas e também pelas queimadas florestais, que, em muitos casos intencionais, consomem grandes extensões ocasionando danos à flora à fauna, e ao solo

De acordo com os estudos de Valera e Castellano (2010), a sub-bacia do rio Castán, mostra uma tendência de mudanças de cobertura de bosque para pastos sujos, pastos limpos ou cultivos de hortaliças. Estes tipos de mudanças trouxeram efeitos negativos diretos sobre os solos e a água. Estes autores acreditam que a situação é motivada pela inexistência de um plano de ordenação do território e pelas intervenções de seus moradores que, em muitas ocasiões, são autorizados e pior ainda são promovidos pelos organismos governamentais que financiam a agricultura no meio rural.

Diante de práticas pouco conservacionistas, a degradação ambiental aumenta a cada dia. É importante que os habitantes dos espaços rurais e a população em geral adotem atitudes mais conscientes. Em muitos casos é preciso ter conhecimento da situação real das bacias para elaboração de planos de ação, com objetivo de reverter os danos ambientais, promover mudanças a cultivos que sejam de menor impacto e tomar medidas enquadradas nas técnicas baseadas na agroecologia visando à preservação dos recursos solo e água.

## **1.2- Problematização**

Nesse contexto, o trabalho foi desenvolvido a partir da seguinte problematização: Quais seriam as áreas similares do ponto de vista das alternativas de uso e ocupação ou distinção para conservação e preservação na bacia hidrográfica do rio Castán?

A partir deste levantamento foi elaborada uma proposta de zoneamento ambiental com o intuito que a mesma possa contribuir com as instituições responsáveis por esta bacia hidrográfica, além disso, se espera que seja ponto inicial para o desenvolvimento de outras pesquisas ou planos de ação com características interdisciplinares, que envolvam tanto a comunidade científica quanto aos moradores da bacia.



### **1.3-Objetivos**

#### **1.3.1-Objetivo geral**

Propor o zoneamento ambiental como subsídio para o ordenamento territorial da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

#### **1.3.2-Objetivos específicos**

1- Caracterizar a área de estudo mediante a elaboração de mapas temáticos (declividade, geologia, solos, sub-bacias e rede de drenagens, cobertura/ uso do solo, precipitação, temperatura).

2- Diagnosticar a fragilidade ambiental e a potencialidade da bacia hidrográfica do rio Castán.

3- Elaborar o zoneamento ambiental da área de estudo.

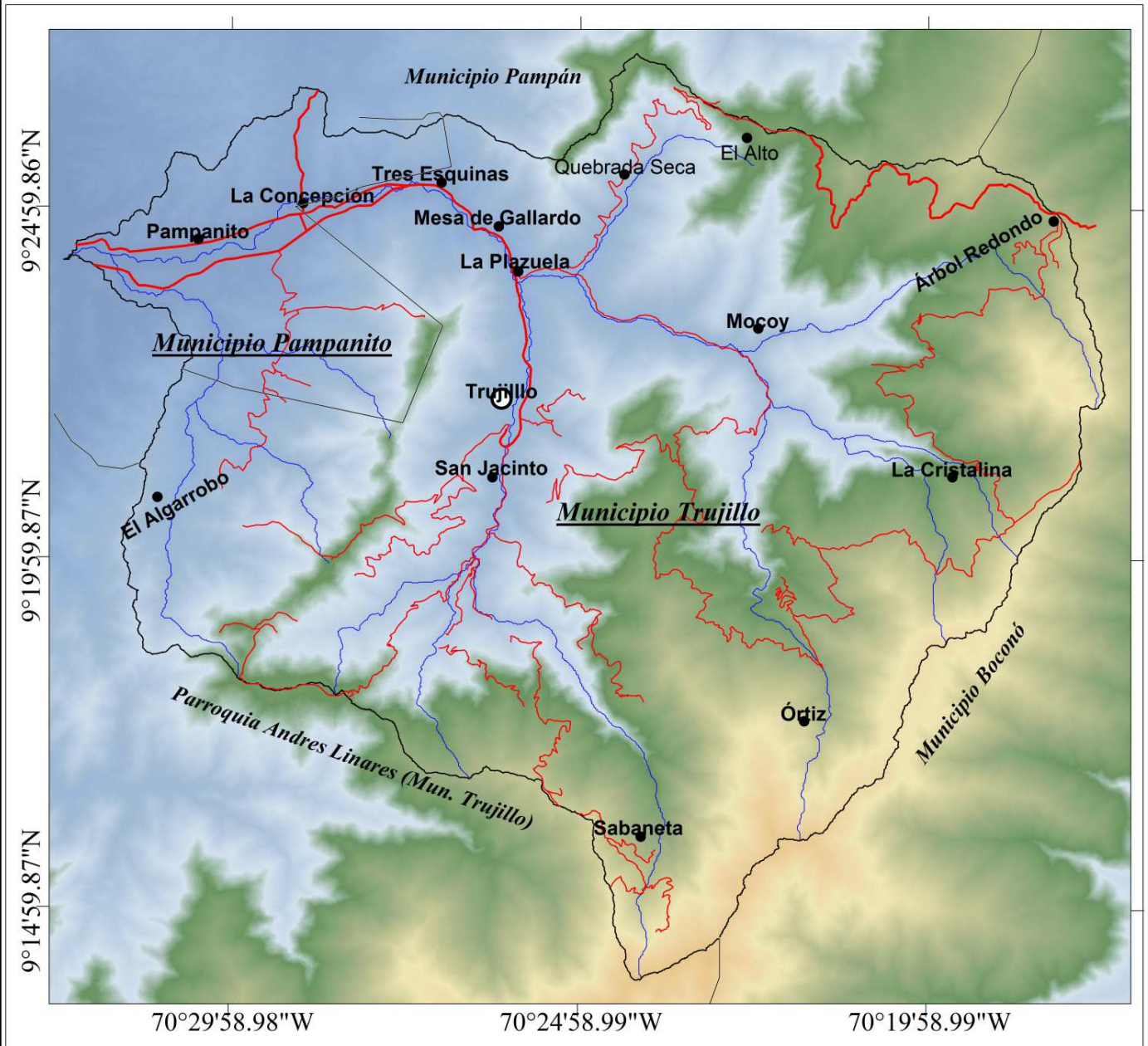
### **1.4-Localização da área de estudo**

A bacia do rio Castán localiza-se ao ocidente da Venezuela, especificamente no estado Trujillo, entre as coordenadas geográficas de 9°13'51" e 9°27'13" latitude Norte do equador e os 70°17'24" e 70°32'37" de longitude oeste do meridiano de Greenwich, ocupa uma superfície de 397 km<sup>2</sup> aproximadamente, 88,5% de esse território esta dentro do município Trujillo e o restante pertence ao município Pampanito.

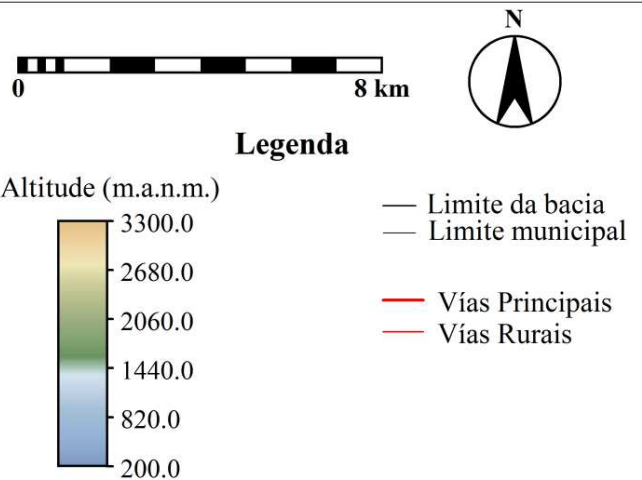
Vale ressaltar que o município Trujillo é o que aloja a capital política - administrativa do estado e a população aproximada segundo o censo realizado pelo Instituto Nacional de estadística (2019) é de 79.275 habitantes. As drenagens presentes na bacia do rio Castán, constituem as fontes abastecedoras de água para todas as atividades ali desenvolvidas.

A bacia hidrográfica do rio Castán, drena suas águas para o rio Jimenez que depois as deposita no rio Motatán, que é parte da bacia hidrográfica do Lago de Maracaíbo, está é parte da Vertente hidrográfica do mar Caribe , que constitui a segunda em maior importância depois da Vertente hidrográfica do Atlântico, representada pela bacia hidrográfica do rio Orinoco. A seguir, no mapa 1, se mostra a localização da área objeto de estudo nesta pesquisa.

Mapa1: Localização da bacia hidrográfica do rio Castán



Referencial Geodesico: SIRGAS-REGVEN



**UFU** Universidade Federal de Uberlândia

Pos-Graduação em Geografia

**IG**

Zoneamento Ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

## 1.5-Justificativa

A destruição dos espaços naturais pela ação antrópica é um fato que repercute nos recursos solo e água. A maior parte das vezes, esses danos são causados por atividades agrícolas e produtivas não planejadas e que não são consequentes com a conservação ambiental. Diante disso se faz necessário reagrupar e projetar o espaço em zonas com características relativamente comuns, em virtude de que a homogeneidade vai incidir no desenvolvimento sustentável e conservação do ambiente.

Da necessidade de controlar e minimizar danos ambientais surge o zoneamento ambiental; de acordo com Páez (2017), este é indispensável para delimitar espaços de interesse, sejam para restauração, reabilitação ou recuperação. Auxiliando assim, para ter uma visão holística do ecossistema, e tendo em consideração as unidades provedoras de serviços; o ordenamento territorial deveria se basear em unidades com características similares e desde ali ter uma gestão do território.

O zoneamento ambiental se estabeleceu como um instrumento estratégico de adequação do uso da terra, desempenhando um papel importante na sustentabilidade, conciliado tanto as variáveis ecológicas quanto econômicas (LOPES; LOURENÇO; REUSS-STRENZEL; 2016). A partir dessa premissa, o conhecimento das aptidões e restrições do espaço geográfico e posterior ajuste, seria fator chave na diminuição dos problemas ambientais.

O avanço e acessibilidade dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), dados e informações obtidos por satélites, aliado às técnicas de geoprocessamento permitem a avaliação de situações ambientais com maior precisão, ademais de diminuir os custos e flexibilizar o esforço humano na coleta e reorganização dos dados. Outro fator que merece referência é a aplicação de metodologias como a análise espacial multicritério (AMC) sob as técnicas dos SIG, que auxiliam os estudos ambientais e permitem uma maior representatividade das variáveis territoriais. De acordo com De Paula e De Sousa (2007) os zoneamentos ambientais obtiveram novas possibilidades de análises espaciais dos critérios utilizados para a delimitação das zonas/unidades, devido às mencionadas melhoras.

As bacias hidrográficas são unidades fundamentais dos estudos geográficos, nestes espaços topográficos se direcionam as águas da precipitação até uma drenagem principal, mas a análise não deve ser só isso. Na visão de Romero (2007), as bacias hidrográficas podem ser analisadas como um sistema onde confluem o biológico, o físico e o econômico/social. Outro aspecto importante e que justifica o estudo das bacias é seu papel vital na proporção de água

para as diferentes atividades humanas, por ser este um recurso de indiscutível valor.

Em virtude do exposto, a bacia hidrográfica deve ser abordada como uma unidade sistêmica e morfológica, onde seus componentes coexistem em permanente dinâmica e interação, o que também vai influenciar o comportamento das alterações ambientais. A otimização da utilização dos recursos naturais presentes na bacia respeitando as fragilidades e potencialidade pode coadjuvar na recuperação e manutenção de um ambiente sadio e um desenvolvimento sustentável.

Considerando, que a bacia do rio Castán localizada no estado Trujillo- Venezuela é a única fonte abastecedora de água para todas as atividades desenvolvidas na capital do estado e nas regiões circunvizinhas, é importante seu estudo com a finalidade de ordenação do território; Valera e Castellano (2010) afirmam que esta bacia se encontra submetida a fortes pressões oriundas da demanda de água para irrigação e pela ocupação de espaços com limitações ambientais. Nesse local, é crescente a expansão da fronteira agrícola, e o desenvolvimento desorganizado de vias e estabelecimentos urbanos, desconsiderando os critérios básicos de planificação e ordenação do território.

A bacia do rio Castán possui em seu território atividades socioeconômicas de risco potencial de degradação, associadas tanto á supressão da vegetação quanto á degradação de recursos hídricos e solos; neste sentido; o zoneamento ambiental surge como uma importante ferramenta que pode contribuir com o desenvolvimento futuro da bacia, na medida em que este resultará em um material de utilidade para seu planejamento e crescimento ordenado e sustentável .

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Apresenta-se nesta seção a fundamentação teórica, incluindo, todos os conceitos, teorias e antecedentes que são fundamentais no desenvolvimento da pesquisa. Pretende-se construir uma sustentação de informação integral e resumida que seja base no entendimento dos termos e eixos da pesquisa.

### **2.1- A bacia hidrográfica como unidade base na ordenação e gestão do território.**

É de conhecimento geral que as bacias hidrográficas constituem o espaço de análise ambiental fundamental, nesses territórios confluem diversas características topográficas, hidrológicas, ecológicas, sociais e econômicas. Numa perspectiva mais ampla, Ferreira (2016) comenta que para ter um manejo sustentável é indispensável apresentar como ponto inicial estudos interdisciplinares em bacias hidrográficas, fomentando assim o planejamento territorial e uso racional dos recursos presentes nelas, ressaltando o manejo integrado da água que é um recurso indispensável para a vida.

A bacia hidrográfica é o espaço no qual naturalmente percorrem todas as águas, já sejam produto das precipitações, degelo ou aquíferos, até um ponto comum ou ponto de descarga; o território da bacia é independente das fronteiras político administrativas dos países e estados, e dizer, atende configurações topográficas. As bacias hidrográficas funcionam por gravidade, que faz correr a água para baixo de acordo com o gradiente da ladeira, o processo gera uma energia adicional que insere dinamismo ao meio ambiente, formando e recarregando águas superficiais e subterrâneas, também se beneficia a vegetação e os animais dispõem de hidratação (FAO, 2009).

A importância das bacias hidrográficas como zonas de interesse para a ordenação e gestão do território tem sido amplamente discutida por inúmeros autores; segundo Breijo et al. (2018), esta zona é idônea para planificar o uso sustentável dos recursos naturais, diminuir a vulnerabilidade ante os desastres e suscitar uma verdadeira oportunidade de governabilidade. É muito recomendado também criar competências para o uso múltiplo da água que possam atender demandas populacionais, energéticas e agrícolas. Os eventos hidrometeorológicos são fatores de grande relevância no ordenamento e gestão das bacias hidrográficas, as enchentes e movimentos em massa, geralmente deixam perdas econômicas e também vítimas fatais; determinar e mapear zonas vulneráveis a estes eventos é de grande ajuda para a mitigação de riscos ambientais.

Nas bacias hidrográficas conflui a energia proveniente da ação climática e da tectônica local, também ela é capaz de eliminar os fluxos energéticos, sedimentos e demais substâncias solúveis pela saída da água. Em função das mudanças de entrada e saída de energia ocorrem constantes ajustes nas formas e processos associados ao funcionamento, partindo dessas características surge o conceito de autoajuste, que não é mais que a capacidade do meio de manter seu equilíbrio. As grandes mudanças no comportamento das condições naturais de uma bacia hidrográfica, sejam causadas por processos erosivos naturais ou por danos antrópicos, têm a faculdade de gerar alterações no fluxo energético, o que acarreta o desequilíbrio natural, que vai originar a degradação da paisagem (FLORENCIO, 2010).

Calero (2017), afirma que a ordenação do território, deve ser concebida como uma política pública integral de planejamento físico que pode ser implementada em escala regional ou sub-regional e que tem as bases nos diferentes elementos estruturantes do território, como: sistema de assentamentos, infraestrutura e serviços, assim como no ordenamento dos recursos e o planejamento natural e cultural dos elementos estruturantes de qualquer espaço. A finalidade primordial da ordenação do território é alcançar um desenvolvimento sustentável, que vai se refletir na qualidade de vida das populações que habitam nos espaços objeto do planejamento.

As bacias hidrográficas são unidades completas de estudo e gestão, portanto, a elaboração de mapas orientadores do uso equilibrado da terra é uma proposta interessante, em virtude de que a transformação dos sistemas geocológicos, indiscutivelmente terá impacto na qualidade de vida de todos os moradores destes espaços (FERREIRA, 2016). Mas, nos países menos desenvolvidos são incipientes as políticas nacionais de sustentabilidade hídrica, além de que faltam leis reguladoras e mecanismos para que as leis existentes sejam exercidas.

A Constituição da República Bolivariana de Venezuela, em seu artigo 304 estabelece que as águas são bem de domínio público da nação, insubstituível para a vida e o desenvolvimento sustentável do país, além disso foi criada em 2007 a Lei das Águas, nesse documento estão fixadas todas as disposições que governam a gestão integral das águas da nação sul-americana. Embora os avanços legais no respeito às águas, a situação das bacias hidrográficas não é muito promissora, razão pela qual é indispensável promover práticas de manejo conservacionistas para diminuir o impacto negativo nas bacias, além de métodos inovadores e a prioritária implementação de planos de ordenação territorial.

O planejamento ou ordenação do território também está consolidado na Constituição da República Bolivariana de Venezuela, em seus artigos 120, 127 e 128, nesse instrumento legal declara-se que as políticas de ordenação do território atende a realidades ecológicas,

geográficas, populacionais, sociais, culturais, econômicas e políticas, tudo no marco ao desenvolvimento sustentável. Ademais, existe a Lei Orgânica para o Planejamento e Gestão da Ordenação do Território da República Bolivariana de Venezuela, feita em 2006, onde apresenta em seu artigo 2, o ordenamento como uma política dirigida à promoção, regulação e controle da ocupação e uso do território, para dar uma resposta espacial para a localização de assentamentos humanos, atividades econômicas e sociais, com o objetivo de alcançar o desenvolvimento integral e sustentável.

Embora os instrumentos legais mencionados, Garcia (2016) subscreve que na Venezuela os planejamentos estaduais em alguns casos se encontram desatualizados, existindo situações onde os processos de ocupação e uso do território foram produzidos de maneira anárquica, trazendo como consequência problemas ambientais, que tem expressão também em problemas sociais. Diante da situação descrita, é preciso consolidar técnicas que permitam a adequação dos planos desenvolvidos e que se adaptem às realidades em transformação, ademais estes podem ser uma guia para as atuações públicas e privadas, isso no inquérito de preservar e conservar o ambiente e os recursos naturais como o maior bem da humanidade.

De Carvalho (2014), alega que o zoneamento pode ser considerado um instrumento técnico de apoio ao planejamento e ao ordenamento territorial, porquanto é uma técnica que define os espaços territoriais em função de suas potencialidades, limitações e conflitos; o planejamento, por sua vez estabelece as diretrizes e metas a serem aplicadas e cumpridas em certos lapsos de tempo.

Em vista dos argumentos apresentados, as bacias hidrográficas de zonas de montanhas representam áreas de singular interesse por sua fragilidade, seu uso indiscriminado vai repercutir na quantidade e qualidade das águas, além disso, a dificuldade para a reabilitação ecológica destes espaços que acarretam consequências para seus habitantes, então o zoneamento com fins de planejamento e gestão é uma ferramenta que pode e merece ser levada em consideração para a proteção e conservação dos recursos presentes nelas.

## **2.2- Zoneamento Ambiental: importância no marco da ordenação do território, sua relação com a fragilidade ambiental e o desenvolvimento sustentável.**

O zoneamento ambiental busca em primeira instância determinar zonas com características homogêneas, onde sejam conjugados aspectos ecológicos e sociais, isso com a ideia principal de promover alguma função o quer seja ambiental ou produtiva. O termo

zoneamento já tem a conotação de divisão e parcelamento, que pode ser tanto regular como irregular, conducente á definição de zonas individuais com características próprias.

É necessário ter em consideração que o termo homogêneo, neste tipo de estudos não se refere a zonas exatamente iguais, Da silva et al. (1997) sugerem que para os zoneamentos a natureza a noção de homogeneidade e heterogeneidade é muito relativa, e depende de múltiplos fatores, uma unidade territorial pode ser qualitativamente e quantitativamente mais homogênea que outra, e também que cada unidade homogênea tem diferentes graus de heterogeneidade interna.

Na opinião de Dos Santos e Ranieri (2013, p. 44, tradução própria), “O zoneamento ambiental é entendido como um instrumento de planejamento espacial, apesar das diferentes visões de seu papel que levam em conta o contexto em que é discutido e aplicado” referem os mencionados autores que o planejamento espacial deve incorporar aspectos ambientais próprios das áreas com as mesmas características, a fim de que as atividades humanas desenvolvidas no futuro dentro de um espaço específico sejam viáveis, incorporando o ponto de vista social, mas também ambiental, harmonizando as duas partes.

Quintero e Pérez (2006) acrescentam que o zoneamento ambiental é uma ferramenta valiosa para o planejamento e uso dos recursos naturais, em virtude da sua ajuda na identificação de unidades de manejo ambiental, tendo em consideração as taxas de extração, capacidade de uso, acervo cultural e capacidade de autorrecuperação dos ecossistemas.

Além disso, na percepção de Ferreira e Piroli (2016), o zoneamento é consequente com as suscetibilidades e potencialidades, então, o processo tem como intuito dar orientações para a limitação no uso conforme o grau de critérios adotados, deste modo os zoneamentos são formas de planejar e organizar áreas com potencial para a degradação e revitalizar áreas já degradadas, além de auxiliar a preservação e conservação de áreas com potencial ecológico, assim se converte em uma ferramenta chave em áreas que tem uma finalidade relacionada com a conservação ambiental como as zonas protegidas ou parques nacionais.

Não obstante, Ontivero et al. (2008) adverte que nas áreas protegidas dos países em vias de desenvolvimento, o zoneamento só existe como nível teórico e nas leis, porém as medidas mitigadoras e protetoras do ambiente não são aplicadas. Surgindo assim a necessidade de propor zoneamentos que sejam adequados com a realidade do espaço e o uso que se esteja dando aos recursos existentes, de uma maneira sincera e direcionada com o desenvolvimento sustentável.

Como estratégia aplicada em bacias hidrográficas, o zoneamento assinala e reserva áreas a partir do conhecimento de suas características biofísicas e socioeconômicas,



especialmente das limitações e potencialidades (DEL AGUILA, 2008). Assim mediante esta estratégia, evidenciam-se conflitos de uso e deparam-se os aproveitamentos que podem ser consolidados para melhorar a qualidade de vida dos habitantes das bacias.

Entre os objetivos do zoneamento, Ross (2006) distingue os seguintes: aportar o embasamento técnico e científico para promover o desenvolvimento sustentável, definir diretrizes para o ordenamento e de ser possível o reordenamento tendo em consideração as potencialidades naturais, as fragilidades dos sistemas ambientais, as potencialidades humanas e as fragilidades sociais/culturais; ademais o zoneamento ambiental contribui na instrumentalização dos órgãos de governo para estabelecer a soberania, controle e gestão sobre seus territórios; orienta os investimentos da iniciativa privada e finalmente pode contribuir para elevar a consciência da cidadania à sociedade e desenvolver o senso de responsabilidade mútua entre os diferentes níveis sociais e governamentais.

O zoneamento ambiental apresenta-se como uma ferramenta que pretende dar pautas para a utilização equilibrada dos espaços, no entanto os desafios que encara têm que ver com aplicabilidade e seguimento das recomendações por parte dos atores envolvidos. Do ponto de vista funcional, os resultados obtidos deverão ser ponderados para a elaboração de estratégias de ordenação do território, procurando encontrar os meios ideais para integrar variáveis ambientais, sociais e econômicas envolvidas nos projetos (RUFFATO-FERREIRA, et al. 2018), lembrando que os princípios norteadores de qualquer zoneamento envolve entre outros o caráter holístico, sistêmico, sustentável e equitativo.

A Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional (2010) argumenta que a mencionada estratégia, possui entre seus critérios principais a delimitação de áreas onde apenas é permitida a proteção dos recursos naturais, áreas nas quais poderá ser admitido o uso moderado, não obstante, nas áreas onde já existe uma exploração agropecuária poderão ser reguladas os usos ou métodos capazes de causar degradação, ademais de definir áreas já consolidadas em termos de dinâmica urbana

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (apud Bacani e Luchiari, 2014), o zoneamento ambiental permite determinar os limites de possíveis irreversibilidades referentes aos conflitos ambientais e a fragilidade biológica, também auxilia na identificação de atividades antrópicas para cada setor da unidade ambiental e propõe seu manejo integral, e por último as metodologias de zoneamento ambiental por serem flexíveis, permitem a adaptação na definição de manejo de uma zona.

Para o Ministério do Meio Ambiente (2006) o zoneamento ambiental pode ser considerado um instrumento que se propõe aumentar a relação homem-natureza, fornecendo

assim uma ligação entre as políticas públicas e os meios de produção, de maneira que a biodiversidade passa a ser compreendida como base da sustentabilidade dos ecossistemas naturais. É importante incluir o posicionamento de Beker e Egler (1996), que atribuem um caráter de processo dinâmico aos zoneamentos e recomendam uma constante atualização, para assim reagir e agilizar a passagem para novos padrões de desenvolvimento de ser necessário.

A fragilidade ambiental, de acordo com Gaspari et al. (2011) é a predisposição intrínseca do meio ambiente e os recursos naturais em sofrer agravos, sendo estes elementos físicos ou biológicos. Neste sentido, o conceito é aplicado nas bacias hidrográficas quando se manifestam fenômenos de caráter hidrometeorológico extremos como: chuvas fortes, vazões, enchentes, secas; e também em cenários morfométricos críticos, como o caso de altas declividades, solos poucos profundos e por último o uso dos recursos naturais sem medidas sustentáveis.

A fragilidade ambiental é uma variável fundamental no planejamento sustentável e deve ser incorporada nas ações referentes a ele, em virtude do o manejo inadequado dos recursos naturais aumenta a vulnerabilidade e pode acrescentar a magnitude dos desastres naturais (CARRASCO, 2013). É inegável a associação dos eventos naturais extremos com a degradação ambiental na ocorrência de fenômenos ambientais negativos, por exemplo, é comum nos movimentos em massa o desmatamento prévio de zonas que frente a precipitações fortes desencadeia este tipo de fatos.

Segundo Ferreira (2016, p. 59) o “zoneamento ambiental visa à criação de áreas conforme suas suscetibilidades e potencialidades”, ou seja, orienta o planejamento e a organização de áreas potenciais seja desde o ponto de vista de produção, com potencial ecológico ou com possibilidades de degradação, como também a revitalização das áreas já degradadas.

O zoneamento ambiental tenta diminuir a vulnerabilidade ambiental mostrando as áreas que precisam de um tratamento comedido e também as áreas com maiores facultades produtivas, assim gera também uma visão mais conexa do meio ambiente e atenuam o determinismo natural, incluindo as vontades e a ação das atividades humanas como elementos integradores das realidades ambientais.

É amplamente divulgado que o termo desenvolvimento sustentável se refere àquele que atende às necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de desenvolvimento das gerações futuras, O conceito nasceu na Conferência de Estocolmo, em 1972, sendo alcunhado no momento, como aproximação ao ecodesenvolvimento e abordado como um desenvolvimento social-econômico equitativo

Nas palavras de Romeiro (2012) o desenvolvimento sustentável tenta garantir de maneira simultânea o aumento da renda nacional, o acesso a direitos sociais básicos e a redução de impacto do aumento da produção e do consumo sobre o ambiente, e para isso leva em consideração uma série de políticas na procura de alcançar tais objetivos.

O desenvolvimento sustentável deve ter um enfoque metodológico que direcione à eficiência, indubitavelmente as inovações tecnológicas precisam garantir um melhor aproveitamento dos recursos naturais e diminuir os efeitos nocivos das atividades produtivas, o padrão de produção e consumo são os responsáveis pela crise ambiental atual, e a proposta de uma relativa redução de consumo de matéria e energia a partir da maior eficiência tecnológica surge como uma alternativa (DELUIZ e NOVICKI, 2017).

Jansen (2003) menciona como principais desafios do desenvolvimento sustentável: a interação entre cultura, estrutura e tecnologia, as abordagens otimização-renovação e as partes envolvidas. Isso implica que os três setores devem ser promovidos de maneira conjunta para lograr os objetivos da sustentabilidade, embora seja uma tarefa complexa porque os termos implicados são gerais, o que faz necessária a atenção às realidades espaciais particulares das áreas de estudo.

A sustentabilidade, a equidade, a produtividade e a sinergia são segundo Jaramillo et al. (2004) critérios básicos que orientam o zoneamento ambiental. No caso da sustentabilidade, faz alusão ao levar em consideração os impactos antrópicos, variáveis de risco e ameaças mais importantes, para assim detectar os elementos mais potenciais de conflito ambiental e tentar minimizar os impactos.

O zoneamento ambiental é um instrumento capaz de conciliar a proteção ambiental ao crescimento econômico, propiciando assim o desenvolvimento sustentável. As políticas públicas na Venezuela ainda não priorizam este tipo de instrumento, que procura harmonizar variáveis socioeconômicas e ambientais.

### **2.3- Geotecnologias ao serviço do Zoneamento Ambiental.**

Para Rosa (2005, p.81) as geotecnologias “são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica”, dentre os componentes do grupo das geotecnologias destaca o autor: os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), a cartografia digital, o sensoriamento remoto, o sistema de posicionamento por satélite e a topografia. Todos eles são compostos por hardware, software que sob o manejo de pessoal qualificado (peopleware) convertem-se em poderosas ferramentas para a

tomada de decisões.

Em certas ocasiões os termos geotecnologias e geoprocessamento são utilizados como sinônimos, mas o termo geoprocessamento segundo Burrough (1987) é mais amplo representando qualquer tipo de processamento de dados possuidor de referências espaciais (dados georreferenciados). Os SIG disponibilizam as técnicas chave para o trabalho com dados deste tipo, sendo comum a representação, análises espaciais e modelagens de superfícies.

A diversidade de técnicas e opções oferecidas principalmente pelos SIG e sensoriamento remoto tem exercido uma função transformadora nas metodologias até agora utilizadas nos estudos ambientais. Um SIG permite analisar, apresentar e interpretar fatos referidos à superfície da Terra, em palavras mais concretas, Tomlin (1990) expõe, que um SIG é um conjunto de software e hardware desenhado especificamente para a aquisição, manutenção e uso de dados cartográficos.

O principal objetivo em relação a um SIG é proporcionar técnicas para todas as áreas do conhecimento que fazem uso de mapas, permitindo integrar em uma base de dados informações representativas de diferentes aspectos de uma região, relacionar os dados de fontes variadas e gerar relatório, gráficos, representações cartográficas, entre outros (ROSA e BRITO, 1996).

Dentre as principais características dos SIG ressalta a possibilidade de integrar, numa base de dados, as informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e de cadastro urbano e rural, imagens de satélite e redes; além disso, um SIG é capaz de combinar várias informações através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados; e também é importante lembrar a chance de consultar, recuperar, visualizar e desenhar o conteúdo da base de dados geocodificados quando seja desejado pelos pesquisadores e usuários em geral (CÂMARA, 1993).

Ao respeito do Sensoriamento Remoto, Roa (2012) o descreve como: a ciência e a arte de obter informação de um objeto, área ou fenômeno através de dados adquiridos mediante algum dispositivo que não está em contato físico com eles, vale lembrar, que o sensoriamento remoto inclui a obtenção da imagem assim como seu posterior tratamento e interpretação.

Chuvieco (2008) nomeia como vantagens do sensoriamento remoto: a visão global, a observação de informações em regiões não visíveis do espectro, a observação em diferentes escalas, e também, a frequência e homogeneidade da captura das imagens. O rápido avanço dos instrumentos responsáveis desta técnica de aquisição de informação, respondem com estas características, que fazem com que as imagens e dados obtidos sejam no dia de hoje

indispensáveis aos estudos ambientais.

Atualmente, para a elaboração e atualização de documentos cartográficos, é comum a utilização de produtos obtidos por sensoriamento remoto e geoprocessamento. Rosa (2005) alude que isso se deve à qualidade cada vez maior no respeito à resolução espacial, o que responde aos requisitos de precisão planimétricas exigidos para as escalas do mapeamento. Além disso, o acesso cada vez mais fácil, gratuito e por meio de diversas plataformas, faz com que o sensoriamento remoto seja uma técnica indispensável na realização dos estudos ambientais.

A utilização conjunta de SIG e produtos de sensoriamento remoto são imprescindíveis na cartografia digital. Roberto e Carvalho (2014, p.67) apontam que: “a cartografia digital trabalhando com temáticas e metodologias distintas impulsionaram a elaboração de produtos específicos para cada tipo de abordagem às quais o mapa será útil na análise demandada para cada situação”. O modo como a informação espacial é processada nos SIG estabelece a modelagem lógica dos dados, que trata da representação geométrica dos dados e que produz representações cada vez mais fiéis da realidade.

Levando-se em consideração esses aspectos, a utilização dos SIG, dados de sensoriamento remoto e a representação dos resultados mediante cartografia digital, é um procedimento que pode ser considerado comum nos estudos de zoneamento ambiental, assim como, em relação à análise multitemporal, avaliação com técnicas multicritério, manipulação de dados sociais e econômicos, entre outras situações.

Nas palavras de Ferreira (2014, p 74), as “tecnologias associadas ao geoprocessamento são de suma importância para estudos sistemáticos sobre as questões ambientais”, nesse mesmo sentido, Rademann et al. (2018) assinalam que os processos relacionados ao dados georreferenciados se mostram eficientes para os estudos ambientais, permitindo uma análise ampla e o cruzamento de diversas variáveis, auxiliando assim na tomada de decisões e no reconhecimento de zonas por seus atributos e conhecimento das potencialidades e fragilidades.

Outro aspecto importante é a disponibilidade cada vez maior de SIG gratuito e de Licença Pública Geral (GNU), o que permite o avanço e aportes significativos dos usuários e a comunidade de cientistas. A liberdade cada vez maior na utilização de aplicativos para a manipulação de informação espacial por parte da comunidade geral faz que o termo “Democratização cartográfica” seja uma realidade, na qual, os usuários, se beneficiam da informação cartográfica, na qual os mapas colaborativos ou a utilização de mapas elaborados é comum, possibilitando assim, um maior uso dos produtos cartográficos.

#### **2.4- Análise Espacial Multicritério e Processo de Análise Hierárquica na tomada de decisões.**

A análise multicritério ou análise multicriterial (AMC), é conceituada por Ribeiro e Alvez (2016) como uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas (ou cenários), fundamentadas em vários critérios, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha mais ajuizada. Assim, é possível auxiliar a tomada de decisões por meio da descrição, ordenação, hierarquização e seleção de alternativas de acordo com postulados que a sua vez atende os objetivos projetados. As características enunciadas permitem ver o potencial da AMC para os processos de seleção dentre um conjunto de variáveis delimitadas e abaixo da presença de diferentes alternativas.

Para Vincke (apud Briozo e Musetti, 2015) dentre as vantagens da utilização de técnicas associadas à AMC destaca-se que não há, geralmente, decisões sejam ao mesmo tempo ótimas sob todos os pontos de análise, possibilitando com que ocorra desta forma, a seleção da melhor opção possível. A AMC pode ser utilizada para diferentes escolhas, desde a seleção de uma modalidade de transporte, operações relacionadas com estratégias de mercado, escolhas de plantações agrícolas, seleção de áreas para aterros sanitários ou qualquer outra assinação especial no território e até mesmo para escolhas da vida cotidiana como, por exemplo, a seleção de universidades segundo as capacidades e possibilidades do aspirante.

A integração da AMC e os SIG geram uma potente ferramenta para assistir aos processos de análise espacial mediante modelos espaciais, especificamente para a assinação e localização de atividades, permitindo a aplicação dos SIG e tendo em consideração diversos critérios (GÓMEZ e BARREDO, 2005). Deste modo os modelos espaciais focalizam uma série de interesses que vão enriquecer o modelo final ao serem mais conexos com a realidade circundante. Para Rodrigues et al. (2002), os SIG fornecem capacidades de automatização, gestão e análise de dados espaciais e essas características são facilmente adaptáveis na vasta coleção de técnicas e procedimentos de AMC, pelo que é possível sua cooptação; podendo assim revelar preferência de decisões e incorporá-las em tomadas de decisão baseadas num SIG.

Dentre as técnicas de AMC mais utilizada para ponderar os critérios destaca-se o denominado Processo de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process - AHP), está constitui uma técnica de análise proposta por Thomas Saaty em 1978, durante seu trabalho na Agência de Controle de Armas e Desarmamento do Departamento de Estado Americano, que pretendia auxiliar na tomada de decisão diante da dificuldade de comunicação entre os

membros do governo.

De acordo com Saaty (1991), o AHP foi desenvolvido para modelar conflitos desestruturados no cotidiano das pessoas, por elas tomarem decisões sem necessariamente ter a noção exata da importância dos parâmetros utilizados. Existem três princípios básicos na AHP, o primeiro é a decomposição, depois seguem os julgamentos comparativos e por último a síntese de prioridades; deste modo, os valores atribuídos aos critérios, são referentes a uma escala de medida de importância relativa ou de valores de intensidade (ALPHONCE, 1997).

Uma característica do AHP é a organização dos dados, às variáveis e dados em diferentes níveis hierárquicos, de tal modo, as variáveis de maior importância conduzem sua maior influência para as variáveis de menor importância, em níveis hierárquicos mais baixos (SAATY, 1991). Ademais a comparação se realiza de dois-a-dois fatores, o que é conhecido como comparação par a par (pairwise comparison); assim se pretende capturar o conhecimento do especialista, que indicará o grau de importância relativo entre os critérios comparados e logo vai atribuir ao relacionamento um critério de importância, conforme escala pré-definida. O que propõe o AHP é valorizar cada variável, e a ponderação se estabelece de acordo com a importância dos elementos e a assinatura dada aos pesos, de acordo com a lógica do método, cada indicador deve ter uma porcentagem de influência e não são excludentes entre si possuem igual valor, em virtude de que as comparações são binárias (GÓMEZ E BARREDO, 2005).

De tal modo, a determinação dos pesos das variáveis ambientais é calculada com o auxílio da matriz de comparação par a par do AHP. Câmara et al. (2001) subscreve que após da ponderação pode-se fazer diversas combinações entre mapas, logrando avaliar os graus de potencialidade e não só analisar a presença ou ausência das potencialidades existentes nos espaços estudados. Um dos métodos mais empregados na AMC, após da ponderação com AHP é a Combinação Linear Ponderada (CLP), Sartori et al. (2012) define esta técnica, como uma simples questão de multiplicar cada mapa (é dizer, cada pixel, de cada mapa) pelo seu peso e, então, somar os resultados.

O AHP e a CLP, posicionam-se dentro das técnicas de AMC coerentes, na hora de ponderar critérios para a seleção e localização de parâmetros geográficos, que se podem modelar em SIG, permitindo ademais, conseguir graus dentro das variáveis estudadas, esta técnica procura diminuir a subjetividade dos pesquisadores na ponderação dos critérios.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Neste apartado serão exibidas as fontes e dados necessários para o desenvolvimento do trabalho, assim como, os procedimentos utilizados na elaboração dos mapas preliminares e o método de integração da informação, com a finalidade de propor o zoneamento ambiental como subsídio para o ordenamento da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

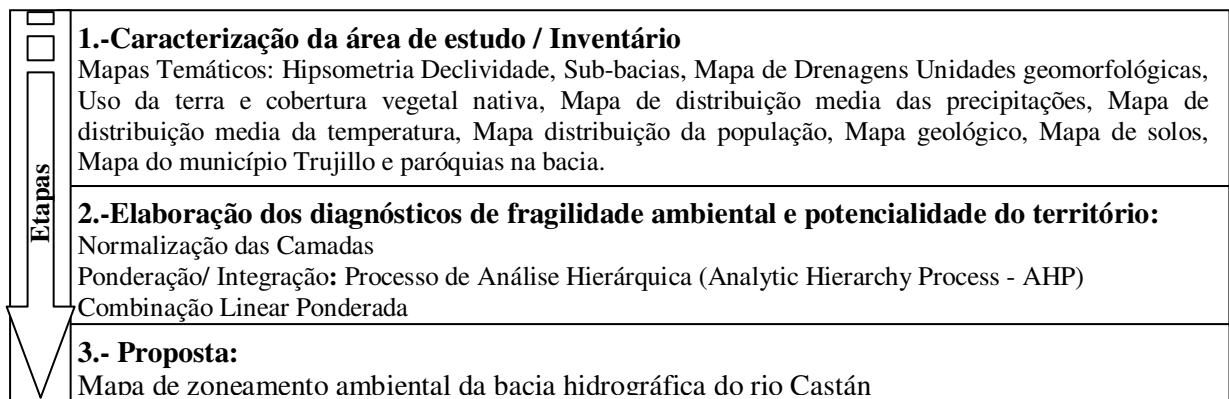
### 3.1- Procedimentos Metodológicos

O método constitui o eixo orientador para a consecução dos objetivos, os estudos ambientais requerem o uso e adequação de novas metodologias apropriadas com os dados derivados das geotecnologias existentes, sendo frequente a adaptação, melhoria e revisão de métodos propostos por outros autores, com a intenção de aportar novidades, contribuindo no enriquecimento dos métodos e tentando resolver os problemas das áreas objeto de estudo.

O método molda os procedimentos e processos necessários para a construção de um conhecimento sistêmico. De maneira global o método da pesquisa é dedutivo, que se caracteriza por ir do geral ao particular. Para Pagot (2007), o método dedutivo nos estudos geográficos se fundamenta no aproveitamento de modelos físicos ou matemáticos que permitem estimar os parâmetros a partir dos dados obtidos mediante geotecnologias e seu posterior processamento.

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas básicas: o inventário, a elaboração dos diagnósticos de fragilidade ambiental e potencialidade do território e a proposta de zoneamento. Na figura 1, é mostrado o fluxograma geral das etapas básicas envolvidas na pesquisa e ,os procedimentos técnicos utilizados.

Figura 1. Fluxograma dos procedimentos metodológicos.



Fonte: Materano, L. S. (2019).



## 3.2 Primeira Etapa:

### 3.2.1- Inventário

Nesta etapa se fez necessário o levantamento dos dados primários e secundários, assim como, das informações imperativas para o desenvolvimento da pesquisa. Em virtude do antes exposto, se realizou um banco de dados georreferenciados, para o armazenamento e manipulação em ambiente SIG das informações biofísicas e populacional. Deste modo, o inventário proporcionou os subsídios necessários para a elaboração do diagnóstico.

O SIG utilizado nesta pesquisa foi o software livre e de fonte aberta ILWIS (*Integrated and and WaterIn formation System* -Sistema Integrado de Informações para Terra e Água), na versão 3.4, considerado pelos seus criadores o Instituto para as Ciências da Geoinformação e Observação da Terra (Institute for Geo-Information Science and Earth Observation ITC), da Universidade de Twente, como um software que combina ferramentas de sensoriamento remoto assim como as próprias dos SIG.

Na etapa do inventário foram realizados os mapas temáticos de: hipsometria, declividade, sub-bacias e rede de drenagem, unidades geomorfológicas, unidades geológicas, uso da terra e cobertura vegetal nativa, solos, distribuição média das precipitações, distribuição média da temperatura, distribuição da população. No quadro a seguir (Quadro 1) serão expostos os dados e as fontes necessárias para a consecução das camadas/ mapas temáticos mencionados.

Primeiramente, foram empregados atributos topográficos derivados de um modelo digital de elevação (MDE) obtido por meio de imagens do sensor Palsar a bordo do satélite Alos. Essas imagens tem 16 bits de resolução radiométrica e resolução espacial, 12,5 x 12,5 m, sendo o sensor capaz de obter imagens diurnas e noturnas sem a interferência de nebulosidade. Neste caso a camada representativa das elevações foi obtida gratuitamente do site Alaska Satellite Facility(<https://www.asf.alaska.edu/>).

Para a construção de um MDE consistente, o modelo em questão foi otimizado, utilizando mapa das drenagens, depois com base nas informações altitudinais do modelo e fazendo um recorte na área de estudo, foram derivadas as camadas alusivas aos atributos topográficos anteriormente mencionados.

O mapa da hipsometria da bacia hidrográfica do rio Castán se obteve de uma reclassificação do MDE em intervalos de 500 metros, para derivar o mapa de declividade recorreu-se a aplicação do Polinômio proposto por Horn (1981), logo a camada foi

reclassificada seguindo as classes da EMBRAPA (1999), onde de 0 a 3% é considerado Plano, de 3 a 8% Suave ondulado, de 8 a 20% Ondulado, de 20 a 45% Forte ondulado e finalmente > 45% que é o avaliado como Montanhoso ou escarpado.

Quadro 1 - Fontes de dados e mapas temáticos gerados.

<b>FONTES</b>	<b>PRODUTOS</b>	<b>MÉTODOS</b>	<b>MAPAS GERADOS</b>
Sensor Palsar a bordo do satélite Alos. Serviço integrado da Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), obtida do site: Alaska Satellite Facility	Modelo Digital de Elevação (MDE). (12.5m)	Atributos topográficos-Reclassificação	Hipsométrico
		Polinomio proposto por Horn (1981)	Declividade
		Atributos topográficos-Processamento hidrológico em SIG	Sub-bacias e rede de drenagem
		Adaptação da metodologia proposta de Pineda <i>et al.</i> (2017).	Unidades Geomorfológicas
Ministerio de Energia y Minas (atualmente Ministerio del Poder Popular de Petróleo y Minería)	Mapa Geológico Estructural de Venezuela	Correção geométrica e digitalização em tela	Unidades Geológicas
Sensor MSI a bordo do satélite Sentinel 2-B. Programa de vigilância ambiental Copérnico, Agência Espacial Européia (ESA)	Imagens multispectrais da área.	Segmentação e interpretação visual por intermediário de chave.	Uso da terra e cobertura vegetal nativa
Sistema Hidráulico Trujillano	Mapa de La zonificación agroecológica para el estado Trujillo	Correção geométrica e digitalização em tela	Solos
	Mapa político administrativo del estado Trujillo	Correção geométrica e digitalização em tela	Mapa do município Trujillo e <i>Parroquias</i> na bacia
	Ortofotomapas/Mapa hidrográfico	Digitalização em tela das drenagens	Drenagens
El Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas (MINEA)/ Instituto Nacional de Meteorología e Hidrografía (INAMEH)	Dados de precipitação de estações meteorológicas próximas e na Bacia	Interpolação de tipo Kriging	Distribuição média das precipitações
	Dados de temperatura da estação meteorológica mais próxima da Bacia	Gradiente de temperatura/ MDE	Distribuição média da temperatura
Instituto Nacional de Estadística (INE)	Dados de população	Interpolação de dados	Distribuição da população

Fonte: Materano, L. S. (2019).

As Sub-bacias e rede de drenagens foram determinadas tendo em consideração as variáveis topográficas, assim como, o Mapa hidrográfico do estado Trujillo, além disso, foi realizada a hierarquização das drenagens, também chamada de ordem das drenagens segundo a proposta por Strahler (1952), assim os canais de 1ª ordem são aqueles que não possuem tributários, a confluência de duas drenagens de 1ª ordem forma um canal de 2ª ordem e assim seguindo sempre nesta lógica. Partindo desta informação será feita a camada das distâncias até as drenagens e nascentes, através da ferramenta de calculador de distancias disponível no SIG utilizado. No momento de fazer o mapa das Unidades Geomorfológicas se adaptou o processo metodológico proposto por Pineda et al. (2017), que inclui quatro atributos topográficos: hipsometria, declividade, perfil de curvatura e plano de curvatura.

Os mapas provenientes de fontes secundárias, por exemplo, o mapa de unidades geológicas e mapa de solos, foram obtidos por meio da digitalização, seguindo as etapas de digitalização por intermediário de barreadores ráster (scanner), georeferenciação, segmentação em tela e posteriormente foram rasterizados.

Para a elaboração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal nativa foram descarregadas duas imagem multispectrais da área, captadas pelos sensores MSI (MultiSpectral Instrument) a bordo dos satélites Sentinel 2-A e Sentinel 2-B, estes são do Programa de vigilância ambiental Copérnico da Agência Espacial Européia (ESA). As imagens captadas pelos sentinel 2 se caracterizam por possuir 13 bandas espectrais, com boa resolução espacial (10, 20 ou 60 m, dependendo da banda) e uma resolução temporal de 10 dias com um satélite e de 5 dias com os dois satélites operacionais. As imagens foram eleitas de acordo com boas condições climáticas relacionadas com a baixa presença de cobertura de nuvens no momento da captura.


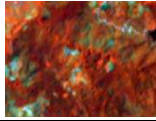
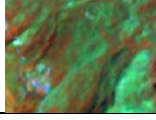
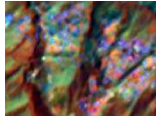
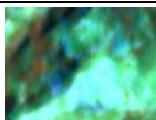

As imagens utilizadas correspondem ao dia 12 de marco de 2018 (Sentinel-2B) e 17 de marco de 2018 (Sentinel-2A). A primeira imagem tinha uma nuvem e sombra de nuvem, cujo espaço foi substituído, por meio de um mosaico, com dados da segunda imagem que tinha esse espaço livre de nuvens. O site para a descarga foi: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.

Seguidamente, foram corrigidas radiometricamente e geométricamente, a primeira correção procura reduzir os principais efeitos atmosféricos da radiância e a segunda atende na remoção das distorções sistemáticas adquiridas pela imagem durante sua aquisição. Depois considerando as distorções que são atribuídas à topografia das áreas montanhosa na hora de fazer classificações automáticas, decidiu-se como método Segmentação e interpretação visual por intermediário de uma chave.

Para realizar tal tarefa foi feita a composição colorida RGB das bandas 8-a (0,85 0,87 $\mu$ m; faixa espectral infravermelho próximo ) 11 (1,56 1,65 $\mu$ m; faixa espectral infravermelho) e 4 (0,64 0,68  $\mu$ m; faixa espectral do vermelho médio ). A imagem da bacia foi processada através da técnica de segmentação de imagens por crescimento de regiões, e depois cada segmento foi associado a uma determinada classe de Uso da terra e cobertura vegetal nativa, tal procedimento foi feito diretamente no monitor da tela de computador, através da sobreposição do recorte de imagem com o mapa vetorial de segmentação.

Para nomear as classes de cobertura vegetal nativa e uso do solo foram definidas 6 classes (Arbustiva Densa, Arbustiva – Subarbórea Aberta, Pastagem, Mosaico de Ocupações (Povoados rurais/ cultivos ), Solo exposto e Mancha Urbana), aliás para orientar a análise foi construída uma chave de interpretação que leva em consideração as características tonais, texturais e geométricas das classes de mapeamento presentes. O quadro seguinte (Quadro 2) ilustra um modelo de chave de interpretação que foi utilizado nessa etapa do trabalho.

Quadro 2. Chave de Interpretação para elaboração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal nativa

<b>Padrões Característicos de Interpretação</b>	<b>*Imagem C.C. R8-a G11 B 4</b>	<b>Uso da terra / Cobertura vegetal nativa</b>
<u>Padrão de cor:</u> vermelho escuro <u>Textura:</u> intermediária a rugosa <u>Forma geométrica:</u> irregular		Arbustiva Densa
<u>Padrão de cor:</u> vermelho brilhante <u>Textura:</u> intermediária a rugosa <u>Forma geométrica:</u> irregular		Arbustiva – Subarbórea Aberta
<u>Padrão de cor:</u> verde escuro, marrom. <u>Textura:</u> intermediária. <u>Forma geométrica:</u> irregular		Pastagem
<u>Padrão de cor:</u> azul escuro e brilhante, vermelho claro e brilhante <u>Textura:</u> rugosa <u>Forma geométrica:</u> irregular		Mosaico de Ocupações (Povoados rurais/ cultivos )
<u>Padrão de cor:</u> verde-turquesa brilhante <u>Textura:</u> intermediária <u>Forma geométrica:</u> irregular		Solo exposto
<u>Padrão de cor:</u> azul claro e brilhante <u>Textura:</u> rugosa <u>Forma geométrica:</u> irregular		Mancha Urbana

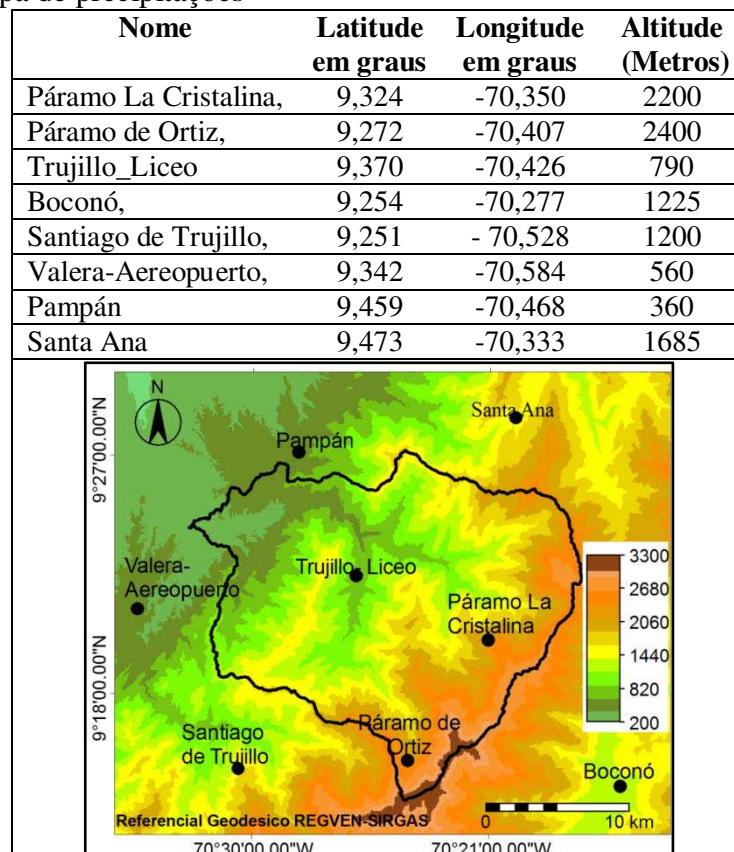
Fonte: Sentinel-2B (12/03/2018) e Sentinel-2A (17/03/2018)

A construção do mapa de precipitação levou em consideração o seguinte processo: foram obtidos os dados de precipitação desde o site do Instituto Nacional de Meteorologia e

Hidrografía (INAMEH), instituição que pertence ao *Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas (MINEA)*, e que é o órgão gerenciador dos dados referentes com as atividades hidrometeorológicas na Venezuela.

Uma vez descarregadas as tabelas da informação anual de precipitação desde 1997 até 2017 para o estado Trujillo, foram empregadas as três estações meteorológicas dentro da bacia hidrográfica do rio Castán (Páramo La Cristalina, Páramo de Ortiz, Trujillo\_Liceo), e cinco estações localizadas nas regiões circunvizinhas, ( Boconó, Santiago de Trujillo, Valera-Aereopuerto, Pampán e Santa Ana) e se obteve a precipitação média anual para cada estação e logo para o lapso de tempo mencionado, a seguir se construiu uma camada de pontos que foi interpolada seguindo o método Kriging, porque é o que mais se adequa nestes tipos de dados. No gráfico seguinte (Gráfico 2) se mostram alguns dados relacionados com as estações, assim como sua localização geográfica. O endereço eletrônico do INAMEH para a obtenção de dados é: <http://estaciones.inameh.gob.ve/descargaDatos/vistas/bajarArchivo.php>.

Quadro 3. Dados e Distribuição das estações meteorológicas tomadas em consideração na construção do mapa de precipitações



Fonte: Fonte: Materano, L. S. (2019) adaptado com dados do *INAMEH*.

No caso do mapeamento da temperatura usou-se também dados fornecidos pelo *INAMEH*, mas, como não é uma medição feita em todas as estações, foi necessário calcular a

temperatura da bacia hidrográfica do rio Castán partindo da temperatura média ministrada pela estação meteorológica Valera-Aereopuerto, e aplicar o cálculo do Gradiente de temperatura médio anual e interpolada com o SIG.

O método se justifica pelo fato que o fator moderador da temperatura na bacia estudada é a altitude, por ser um território montanhoso com uma variação de elevações grande é de esperar variabilidade em temperaturas superficiais seja também diversa. No caso foi considerada uma diminuição de 0.64 °C por cada 100 metros de variação altitudinal.

Para a elaboração do Mapa de População foram usados os dados providos pelo *Instituto Nacional de Estadística* (INE), a data do último censo na Venezuela foi em 2011 e o site de descarga é: <http://www.redatam.ine.gob.ve/Censo2011/index.html>. Na elaboração do mapa de densidade populacional tiveram-se em consideração os dados de população obtidos pelo INE no último censo em 2011 e a superfície dentro da bacia hidrográfica do rio Castán, lembrando que a densidade populacional não é mais que o produto da divisão entre essas duas variáveis.

### **3.3- Segunda Etapa:**

#### **3.3.1 - Elaboração dos diagnósticos de fragilidade ambiental e potencialidade do território.**

O diagnóstico de fragilidade ambiental baseia na conceitualização de Schiavo et al. (2016), que estabelece a mesma como a susceptibilidade natural de um ambiente em função de suas características físicas como a declividade, índice de pluviosidade, tipo de solo, entre outros. No presente estudo utilizam-se as camadas já mencionadas e também uma que faz referência à distância até as drenagens e as nascentes.

O uso da declividade justifica-se pelo fato de estar relacionada com a potência dos processos erosivos além de ser fator chave no mapeamento dos riscos de deslizamentos e inundações. O tipo de solo está diretamente relacionado à sua vulnerabilidade à erosão, assim os atributos físicos e químicos dos solos são determinantes na erodibilidade dos solos mesmo estando expostos a uma condição ambiental comum. A utilização das camadas de distâncias até as drenagens e as nascentes têm como justificativa que esses espaços são altamente susceptíveis as mudanças ambientais, por último foi utilizada a camada referente às precipitações, pois as mesmas constituem o fator desencadeador dos processos erosivos.

O diagnóstico de potencialidade procura determinar as áreas onde já se tem atividades consolidadas e/ou as que têm as condições para maior desenvolvimento, pelo que são aproveitadas as camadas de uso da terra e cobertura vegetal nativa, unidades geomorfológicas e distância até os centros povoados. A primeira camada reflete como o território da bacia hidrográfica está sendo utilizado, mostrando os usos estabelecidos; as unidades geomorfológicas subscrevem as unidades adequadas para o desenvolvimento urbano, e finalmente se emprego a camada de distância até centros povoados em virtude de que as atividades do setor terciário (atividades de serviços e comércio de produtos) são realizadas nelas e as mesmas são importantes na determinação do potencial do território.

### **3.3.1.1- Normalização das Camadas**

Em virtude de que as camadas apresentam diferentes escalas simbólicas é necessário fazer uma reclassificação para uma escala única que permita uma integração sob o ambiente SIG, neste trabalho se utilizo o método do valor máximo o qual consiste em dividir os valores da cada mapa por seu máximo valor a encontrar (EASTMAN, et al., 1995; MALCZEWSKI, 1996; CASTELLANOS e VAN WESTEN, 2005; ROA, 2007, SEGOVIA e ROA, 2012; MONCADA e OJEDA, 2018). Depois de normalizar as camadas os valores representativos ficam em uma faixa dentre 0 e 1.

Este método foi aplicado nas camadas de valores numéricos, como por exemplo, distância até as drenagens onde depois da normalização foi necessário fazer uma inversão, assim as áreas mais próximas das drenagens passaram a obter valores pertos de 1, o que significa que nestes espaços há maior susceptibilidade a apresentar agravos ambientais. No caso das camadas como tipo de solo, e unidades geomorfológicas a normalização foi realizada segundo critérios teóricos sobre cada classe original, também na escala já mencionada.

### **3.3.1.2- Ponderação/ Integração**

Esta etapa corresponde a correlação e sobreposições de dados, para realizar este processo de decisão dos dois diagnósticos previamente mencionados serão usado o AHP. Diante disso, se faz necessário definir os dois estágios básicos:

1º Estágio: estruturação da hierarquia de decisão; construção da matriz de comparação pareada e definição dos valores de importância relativa (peso) de cada fator.

2º Estágio: Nesta fase são feitas as verificações de consistência.

Com a finalidade de que cada indicador obtivesse seu peso estatístico de acordo com suas características, estabelece-se uma matriz dos indicadores assinando-lhe um valor de importância, em cada par de critérios se coloca um ordem de categorias segundo a escala de juízos de valor de Saaty, com valores de 1 até 9 (sendo 1, mesma importância entre critérios, e 9, importância absoluta de um critério sobre outro), os valores pares (2, 4, 6, e 8) são valores intermediários entre as escalas (GÓMEZ e BARREDO, 2005).

Os graus de importância são utilizados para estabelecer ordem de relevância e intensidade entre os fatores avaliados. Assim o AHP se converte num meio compreensivo, que permite fazer frente aos problemas de decisão representando e quantificando as variáveis envolvidas em uma hierarquia de critérios ponderados por preferências (FARIA e AUGUSTO FILHO, 2013). Na tabela1 são apresentados os valores do grau de importância para comparação pareada.

Tabela 1. Escala de medição para critérios binários do AHP proposto por Saaty.

<b>Escala</b>	<b>Definição e Explicação</b>
<b>1</b>	Importância igual - os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
<b>3</b>	Importância moderada - um fator é ligeiramente mais importante que o outro
<b>5</b>	Importância essencial - um fator é claramente mais importante que o outro
<b>7</b>	Importância demonstrada - um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
<b>9</b>	Importância extrema - a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível
<b>2,4,6,8</b>	Valores intermediários - possibilidade de compromissos adicionais entre julgamentos

Fonte: Saaty, 1991.

As verificações de consistência Segundo Saaty (1991), são realizadas para que o estudo tenha coerência e pertinência estatística, corrobora-se mediante o uso da medida global de consistência da matriz (RC), Equação 1, a seguir:

$$RC = IC / IA \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde: IC: Índice de Consistência; IA: Índice Aleatório.



O IC consegue-se desde o eigen principal ( $\lambda_{Max}$ ), é dizer, o valor maior das somatórias por fila, usando a Equação 2 proposta também por Saaty (1991), e amostrada a seguir:

$$IC = \frac{\lambda_{Max} - N}{N - 1} \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:  $\lambda_{Max}$ : eigen principal; N: número de variáveis.

O IA, representa o índice de consistência da matriz recíproca gerada aleatoriamente, desde uma escala de 1 até 9, com juízos de valor recíprocos e diagonal = 1, de tal modo, Saaty (1991) determinou uma tabela de variáveis segundo o tamanho da matriz. Tabela 2, amostrada a seguir.

Tabela 2. Índices aleatórios para matrizes no AHP.

Tamanho da matriz	1x1	2x2	3x3	4x4	5x5	6x6	7x7	8x8	9x9	10x10	11x11
Valor aleatório	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,54

Fonte: Saaty, 1991.

O valor do RC deve ser igual ou menor que 0,10 para que tenha validade estatística. Valores inferiores a 0,10 pode-se considerar apropriadas e estatisticamente validas, se pelo contrario não se aproxima nestes valores é necessário revisar os juízos de valor assinados no método de comparação da matriz inicial.

Uma vez estabelecidas as ponderações respectivas para cada camada por intermédio das tabelas de AHP, será necessária a aplicação da Combinação Linear Ponderada que constitui a técnica de integração das camadas critério, isto é um processo de combinação aditivo compensatório, no qual é necessário ponderações nas camadas em relação ao grau de importância que estas possuem, por sua vez, o peso de cada unidade espacial é consequência da adição dos produtos de cada camada critério por sua ponderação relativa.

### 3.4- Teceira Etapa:

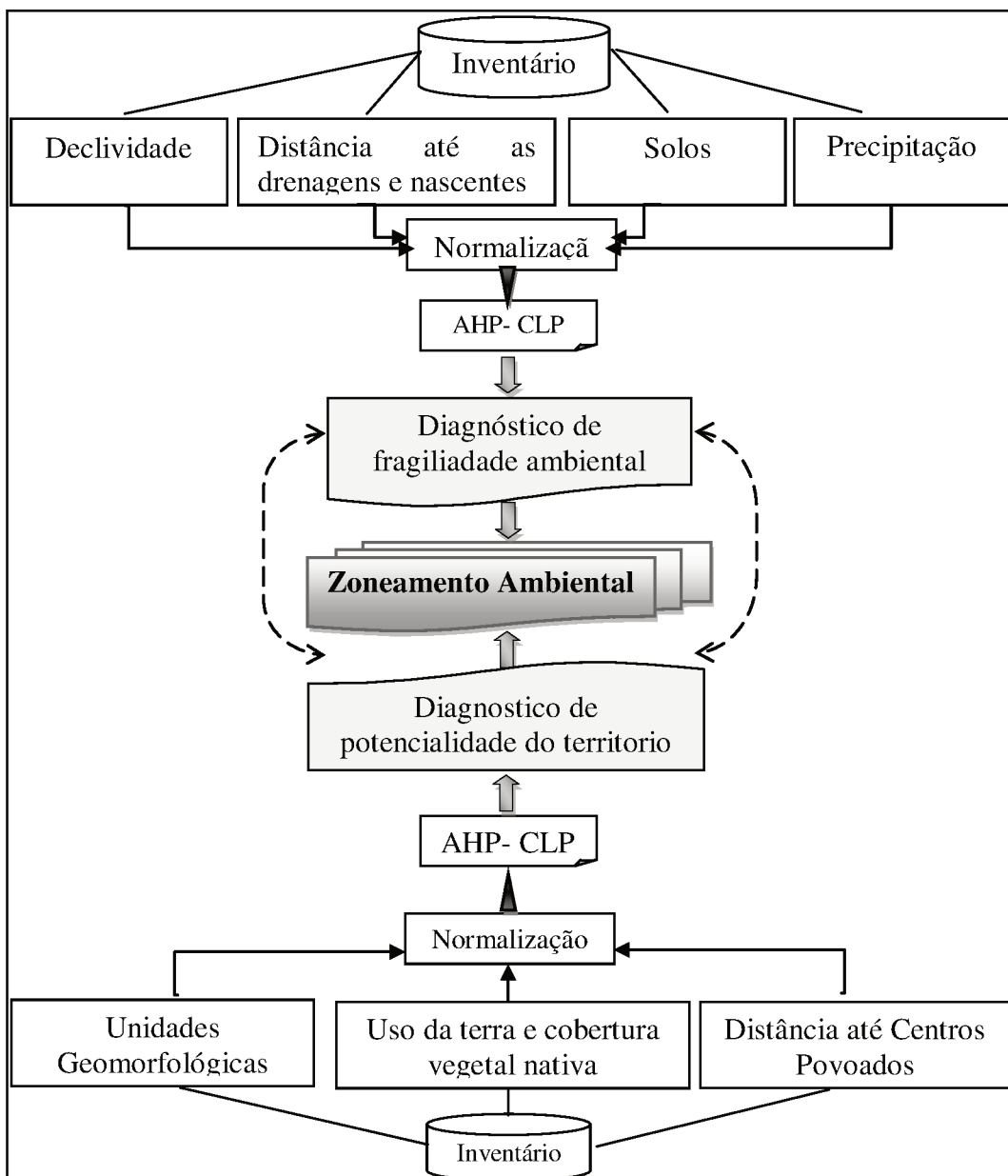
#### 3.4.1- Definição do Zoneamento Ambiental

Nesta etapa foram integradas as camadas resultantes dos diagnósticos de fragilidade ambiental e potencialidade do território por meio da ferramenta de cruce do SIG utilizado, uma vez integradas foram definidas as categorias de zoneamento mencionadas a seguir: Zona de desenvolvimento, Zonas de desenvolvimento não consolidado com necessidade de

adequações ambientais, Zonas com potencial de desenvolvimento sob medidas sustentáveis, Zonas para restauração ecológica, e Zonas de proteção permanente.

Vale lembrar que o procedimento metodológico supracitado tenta corresponder com a necessidade particular, e pretende integrar e correlacionar dados e informações sobre a área de estudo e associá-la numa temática propondo um modelo de zoneamento ambiental de acordo com as características próprias da bacia. A figura 2 apresenta o esquema geral metodológico específico do zoneamento ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán.

Figura 2. Fluxograma geral dos procedimentos metodológicos do zoneamento ambiental.



Fonte: Materano, L. S. (2019)

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO / INVENTÁRIO

Apresentam-se a continuação as distintivas físicas, climáticas e populacionais da bacia objeto de estudo. Procura-se neste capítulo atender a um dos objetivos específicos desta dissertação, especificamente o referente a cartografia temática, logrando assim apresentar o material primário na hora de realizar os diagnósticos prévios ao zoneamento ambiental.

### 4.1. Aspectos Físicos

#### 4.1.1- Hipsometria

A área se caracteriza por possuir um relevo acidentado, próprio dos Andes Venezuelanos, com uma variação de altitude de 267 a 3225 metros. A nascente localiza-se próximo ao páramo “El Corazón”, o lugar com maior altitude da bacia. A cidade de Trujillo localiza-se aos 834m.a.n.m., e os povoados de menor altitude na bacia são: La Concepción e Pampanito. A seguir no Mapa 2, se apresenta a amplitude hipsométrica da bacia com intervalos variando de 500 em 500 m, ao redor de 50% da a área total da bacia encontra-se representada por cotas altimétricas entre 1001 e 2000 m. para ter mais detalhes, mostra-se a seguir a tabela de Quantificação das áreas hipsométricas (Tabela 3).

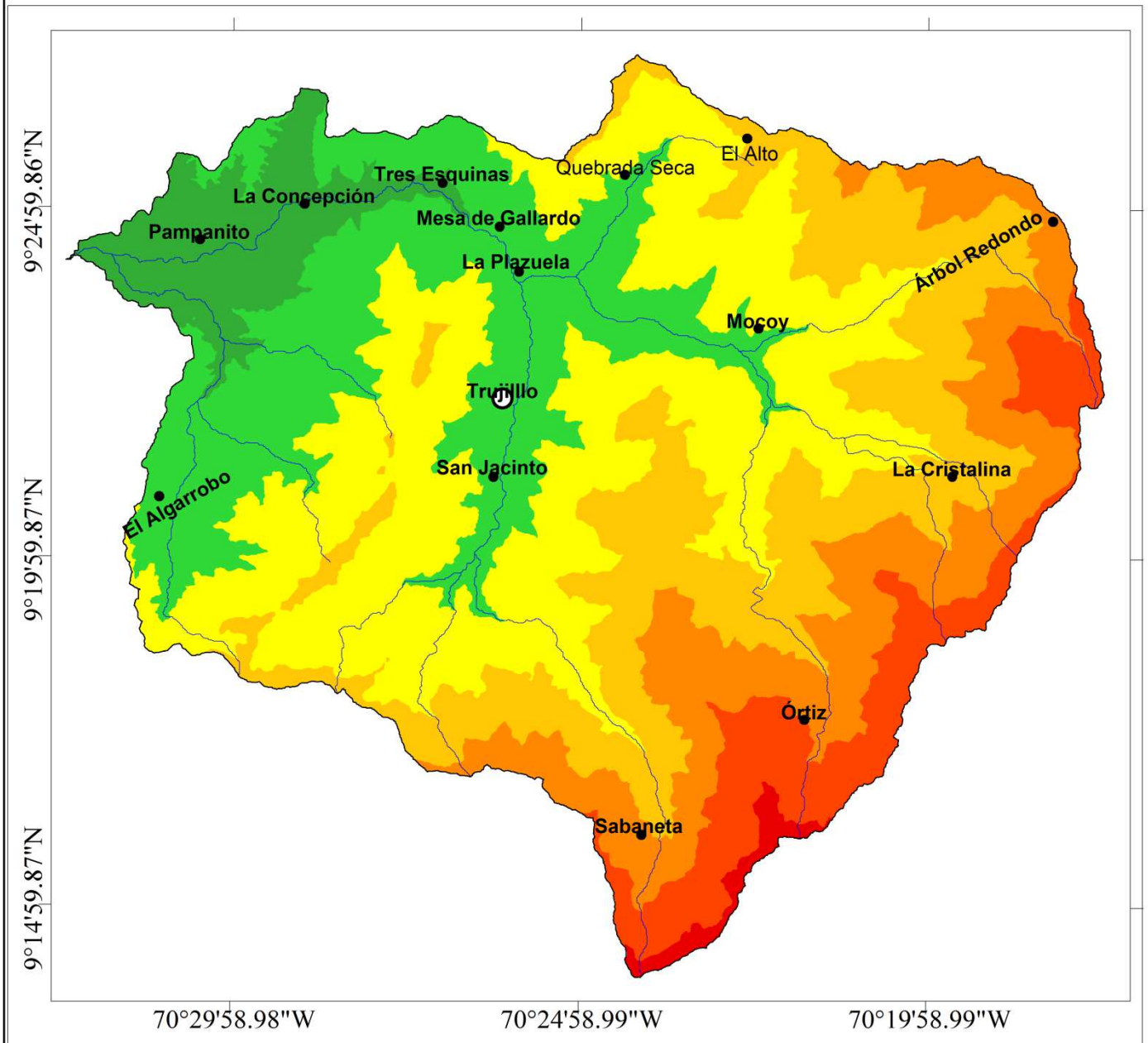
Tabela 3. Quantificação das áreas hipsométricas.

Hipsometria (m)	Área ocupada	
	(km <sup>2</sup> )	(%)
< 500	25,7	6,47
501- 1000	80,3	20,24
1001- 1500	122,3	30,81
1501-2000	82,9	20,88
2001-2500	52,2	13,15
2501-3000	30,1	7,59
>3000	3,4	0,86

Fonte: Materano, L. S. (2019).

Partindo dos dados anteriores podes se afirmar que fisiograficamente a bacia hidrográfica do rio Castán, têm duas grandes zonas, uma de montanha que representa mais de 60% da área, e uma zona de contraforte. As zonas de montanhas se caracterizam principalmente por possuir elevações altimétricas superiores aos 700 m. A bacia pertencente à cordilheira de dos Andes em território trujillano, especificamente na Serra de Trujillo. A zona de contraforte é delimitada como a zona de transição entre as montanhas e os terrenos planos, neste caso localiza-se ao noroeste da bacia.

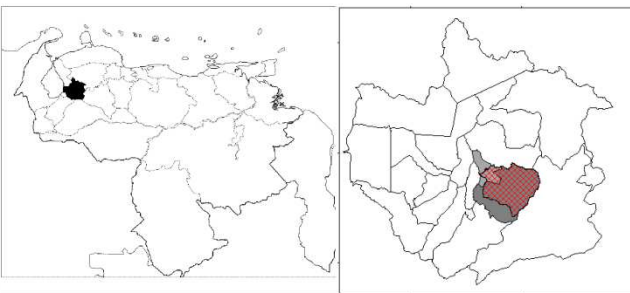
Mapa 2: Hipsometria da bacia hidrográfica do rio Castán



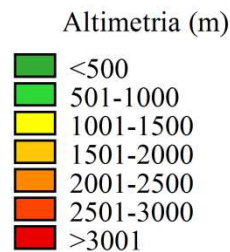
Localização da área de estudo

Nacional

Estadual



Legenda



- Limite da bacia
- Capital
- Localidades

Referencial Geodesico: SIRGAS-REGVEN



Zoneamento Ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

#### 4.1.2-Declividade

O conhecimento da declividade permite prevenção da perda de solo, além de ser ferramenta no manejo e na gestão dos recursos hídricos, especificamente no mapeamento de águas subterrâneas, e no planejamento adequado do uso da terra, por exemplo, 15% de declividade e o limite máximo para uso de maquinário agrícola.

A bacia do rio Castán apresenta 52% (aproximadamente 207 km<sup>2</sup>) sob a classe de declividade montanhosa, as áreas com declividades de forte ondulado, são 38% da área total da bacia; só ao redor das drenagens e nas divisórias apresentam-se zonas planas e na categoria de suave ondulado, com declividades menores de 8% e representando aproximadamente 3% da área total da bacia, a classe faltante de acordo com a classificação usada é a de ondulado que corresponde ao 7% da área total da bacia estudada. A seguir na tabela 4, se mostra as áreas de declividade e os valores de área de cada intervalo e no mapa 3 é exibida as diferentes declividades da área estudada.

Tabela 4. Quantificação das áreas de relevo segundo os percentuais de declividade.

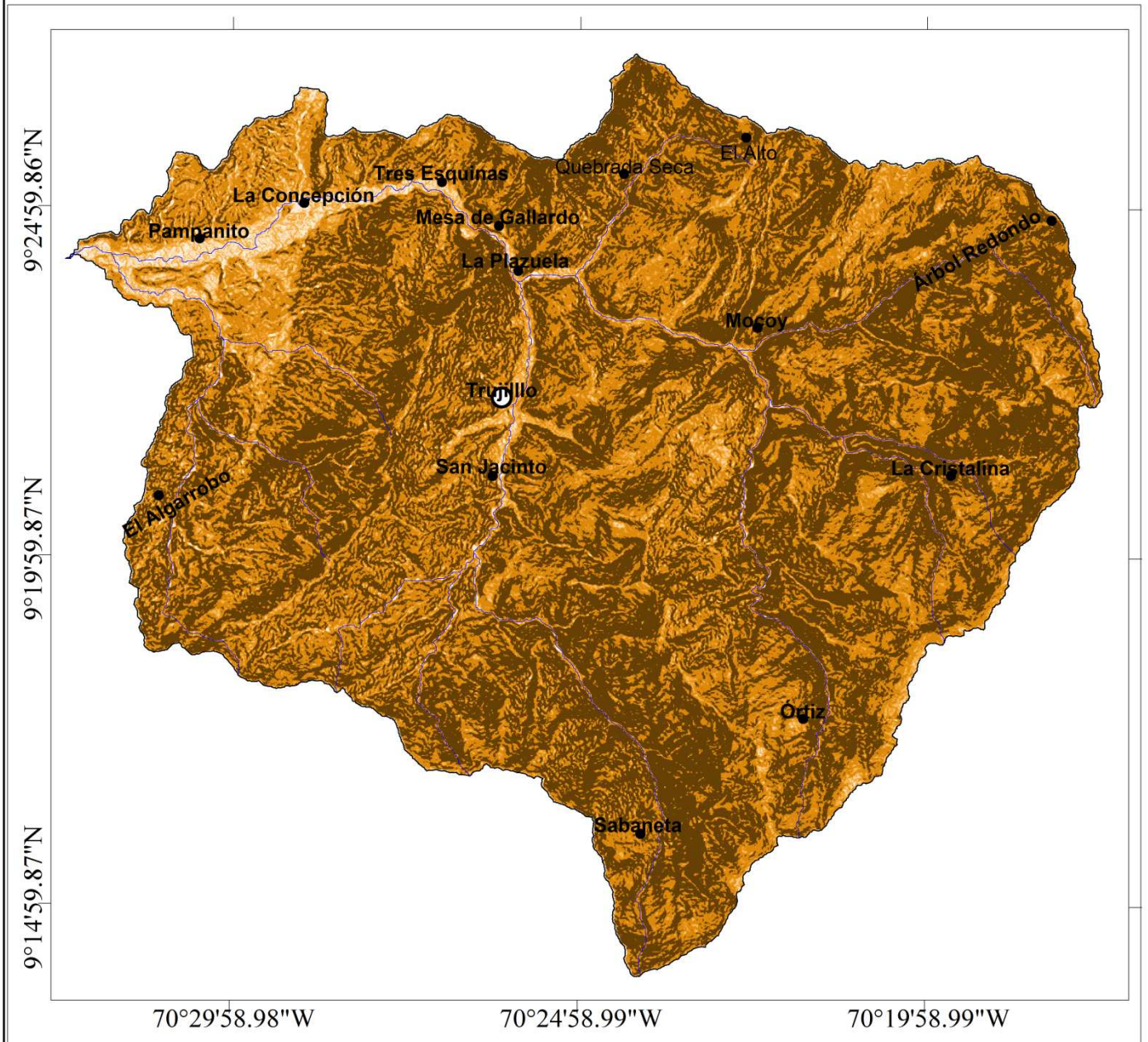
Declividades (%)	Situação do relevo	Área ocupada	
		(km <sup>2</sup> )	(%)
0 a3	Plano	3,3	0,85
3.01 a 8	Suave Ondulado	7,1	1,80
8.01 a 20	Ondulado	27,4	6,95
20.01 a 45	Forte Ondulado	150,0	38,00
>45	Montanhoso	206,9	52,40

Fonte: Materano, L. S. (2019).

#### 4.1.3- Sub-bacias e rede de drenagem

A bacia do rio Castán tem três sub-bacias: a do rio Mocoy, possui extensão territorial 179,85 km<sup>2</sup> e suas principais drenagem são: o *Mocoy*, a *Quebrada La Honda* e a *Quebrada Seca*, a sub-bacia do rio Castán que tem uma extensão 163,99 km<sup>2</sup>, pode ser considerada a de maior importância, conta com a presença de dos cursos de água: *Quebrada Los Cedros* e *Quebrada de Ramos* e terceira e menor das sub-bacias é a *Quebrada de Agua Clara* com 53,10 km<sup>2</sup>. A sub-bacia do rio Castán é a fonte de água potável para a cidade de Trujillo, esta cidade é a terceira em importância do estado Trujillo. A extensão do curso d'água principal é de 40,765 km, e apresenta terceira ordem de drenagens. Em relação à densidade de drenagem, na área estudada é de 0,37 km de curso d'água/km<sup>2</sup> o que é representativo de áreas com boa drenagem, por tanto deveria ter uma resposta rápida ao influxo da precipitação. O mapa 4 apresenta o limite das sub-bacias e a hierarquização dos canais.

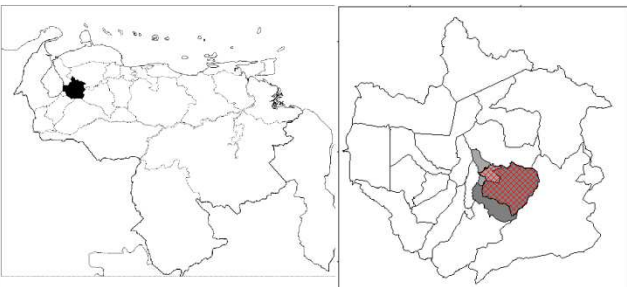
Mapa 3: Declividade da bacia hidrográfica do rio Castán



Localização da área de estudo

Nacional

Estadual



Legenda

Clases de Declividades

- 0- 3% Plano
- 3.01-8% Suave Ondulado
- 8.01- 20% Ondulado
- 20.01-45% Forte Ondulado
- >45.01% Montanhoso

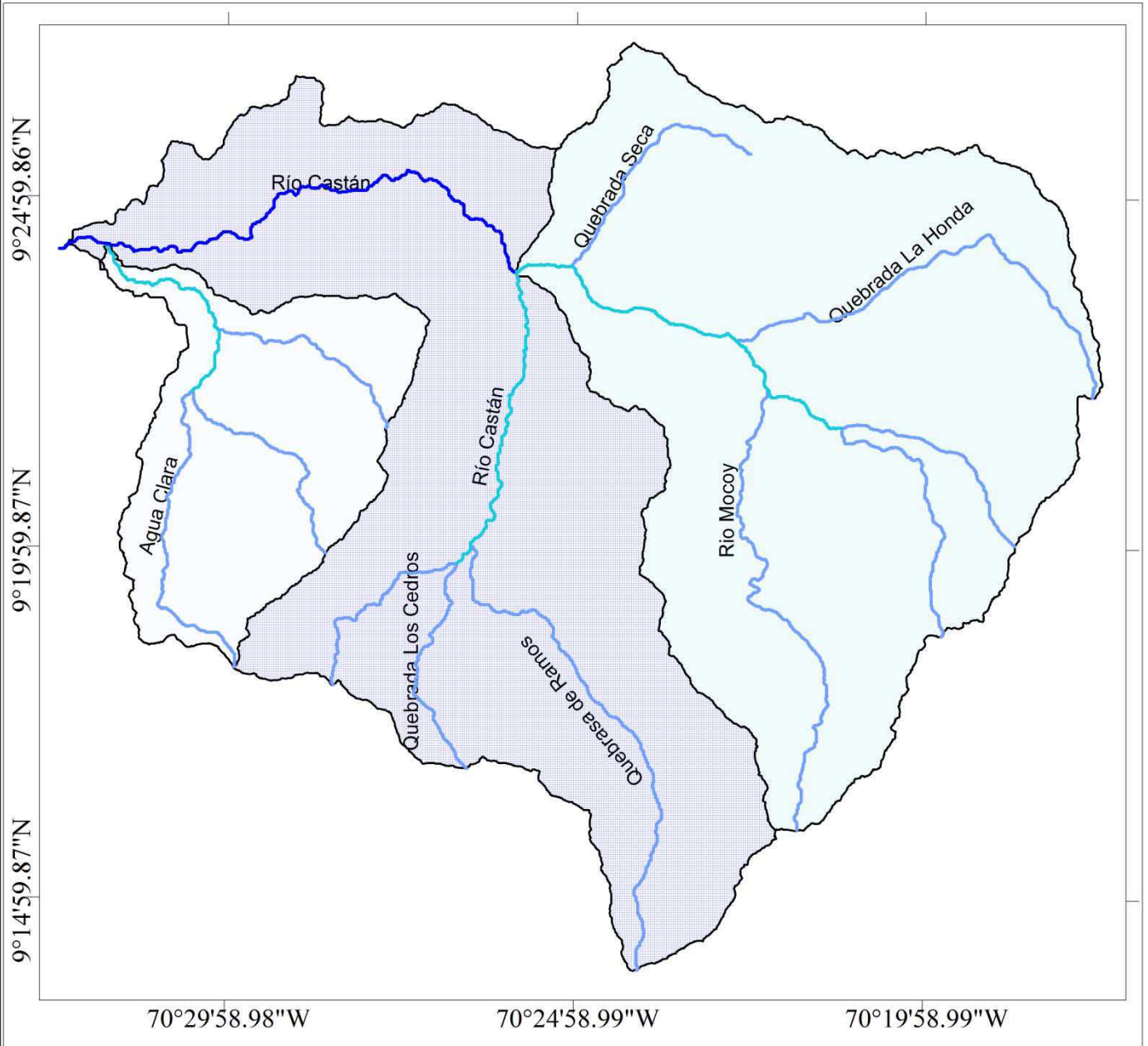
- Limite da bacia
- Rede de drenagens
- Capital ,
- Localidades

Referencial Geodesico: SIRGAS-REGVEN



Zoneamento Ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

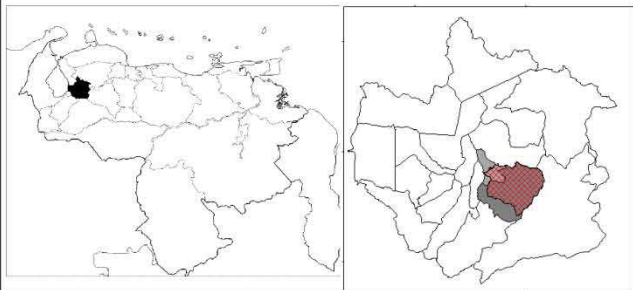
Mapa 4: Sub-bacias e ordem das drenagens na bacia hidrográfica do rio Castán



Localização da área de estudo

Nacional

Estadual






Referencial Geodesico: SIRGAS-REGVEN



Legenda

Sub-bacias

-  Rio Mocoy
-  Río Castan
-  Quebrada Agua Clara

Ordem das drenagens

-  Ordem 1
-  Ordem 2
-  Ordem 3

 **UFU** Universidade Federal de Uberlândia

 Pós-Graduação em Geografia

 IG

Zoneamento Ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

#### 4.1.4- Unidades Geomorfológicas

A bacia hidrográfica do rio Castán apresenta sete formas geomorfológicas diferentes, a que predomina na paisagem é a conhecida como vertente ou encosta, ocupando 90% da área objeto de estudo. Os tipos de encostas apresentadas são denudacionais e coluviais. As vertentes denudacionais são susceptíveis a processos de perda, sobretudo por erosão superficial, em quanto às vertentes e depósitos coluviais presume a relação dos processos de morfogênese e pedogênese, da qual resulta a esculturação da paisagem. A presença majoritária desses tipos de relevos geomorfológicos mostra a sinergia para a disponibilização de material para ser deslocado e acomodado em uma porção do relevo

Outra forma geomorfológica de grande importância para o desenvolvimento das atividades humanas na bacia são os leques aluviais ou cone de dejeção e as planície sedimentares, essas representam (somadas) 8 % da área e são os lugares preferidos para a edificação, lembrando que a cidade de Trujillo tem assentamento num grande cone de dejeção. Também há presença de taludes, voçorocas e crestas em proporções muito pequenas e esparzidas irregularmente na bacia. Na tabela 5 se apresenta a quantificação das diferentes formas geomorfológicas e o mapa 5 é representativo da geomorfologia da área estudada.

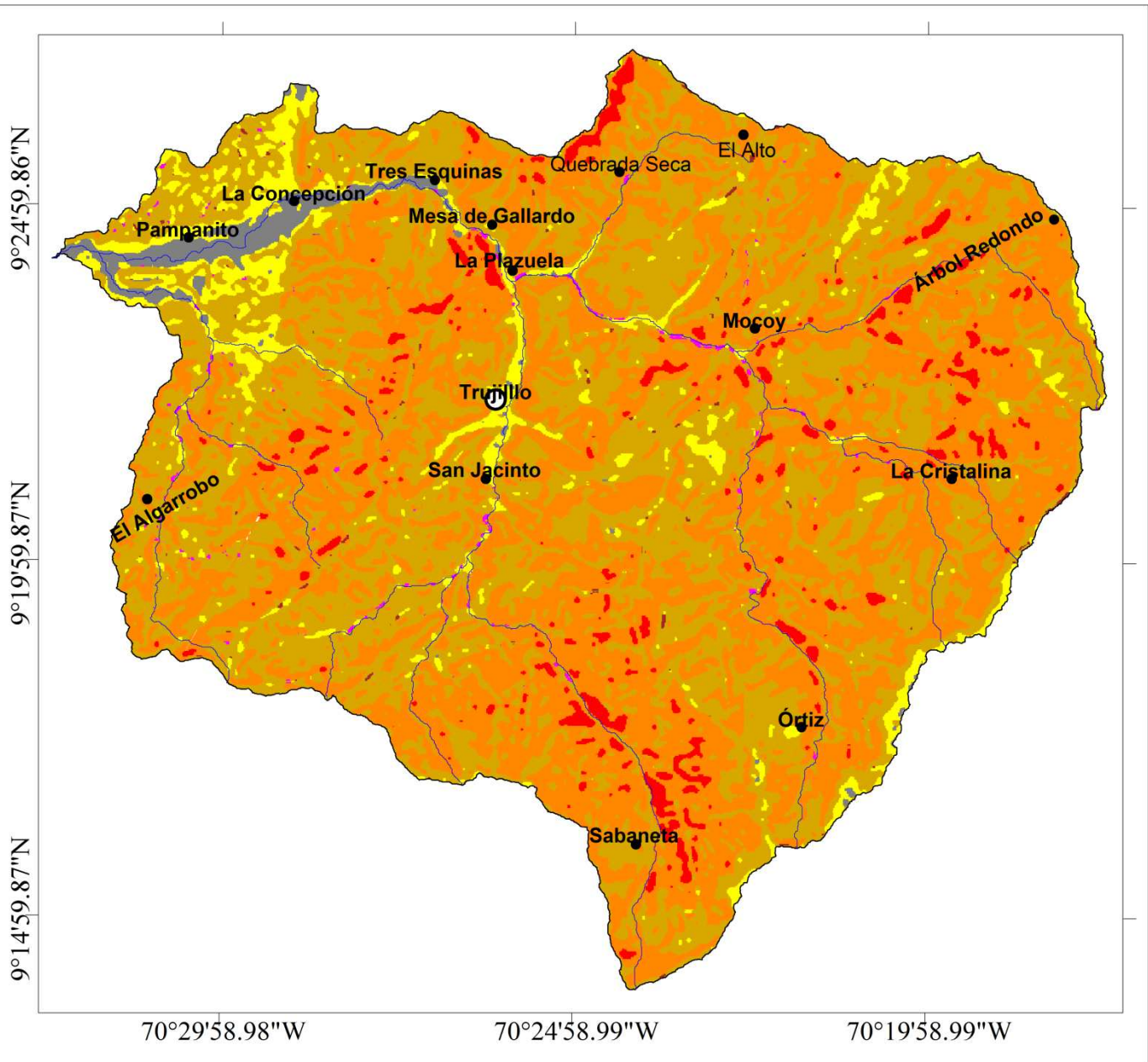
Tabela 5. Quantificação das formas geomorfológicas.

Formas Geomorfológicas	Área ocupada	
	(km <sup>2</sup> )	(%)
Abanico Aluvial	21,4	5,39
Crestas	0,7	0,18
Voçorocas	1,1	0,29
Planícies sedimentares	6,6	1,66
Taludes	11,9	2,99
Vertentes coluviais	172,8	43,55
Vertentes denudacionais	182,4	45,95

Fonte: Materano, L. S. (2019).



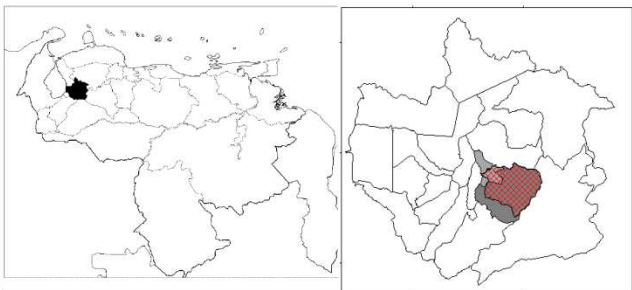
Mapa 5: Unidades Geomorfológicas da bacia hidrográfica do rio Castán



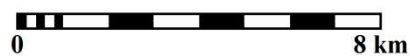
Localização da área de estudo

Nacional

Estadual



Referencial Geodesico: SIRGAS-REGVEN



Legenda

Geoformas

- Abanico Aluvial
- Crestas
- Voçorocas
- Planícies sedimentares
- Taludes
- Vertentes coluviais
- Vertentes denudacionais

- Limite da bacia
- Rede de drenagens

- Capital
- Localidades



Zonamento Ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

#### 4.1.5- Unidades Geológicas

Na bacia do rio Castán há exposição de seis diferentes tipos de formações geológicas, além da presença de aluviões. 69% da superfície caracteriza-se por formar parte da formação *Rio Momboy*, essa é originária do Paleozóico; nesta formação segundo o *Léxico estratigráfico de Venezuela* (1997) são comuns as rochas de tipo ardósia laminadas e ardósia limosas, de cor negra a cinza verdoso, carbonosas e em parte filíticas, com bom clivagem; é comum a presença de pirita, a qual frequentemente substitui fósseis. Com as ardósias intercalam-se delgadas faixas de arenito impuras, laminadas, duras, de cor clara as quais localmente mostram desenvolvimentos em massa (Quartzito). A outra formação de maior relevância na bacia é a formação *La Quinta* com uma presença de 9% aproximadamente, nesta são comuns as rochas sedimentares de tipo: siltito, Arenito, rudito e xisto argiloso; é importante assinalar a formação Apón (com uma representatividade de 8%), que também é predominantemente de rochas sedimentares e as duas bordejam próximas da falha geológica denominada Falha de Carache, que não é mais que um ramal do grande sistema associado com a Falha de Boconó, e que divide a bacia do rio Castán em sentido nordeste sudoeste.

A formação Iglesias ocupa 7% da bacia e localiza-se no sul da bacia, nesta há afloramentos de rochas metamórficas como: gnaisse bandeada; as bandas geralmente são milimétricas ou centimétricas alternadas com outras mais máficas, derivadas de processos de segregação metamórfica que podem culminar até em rochas magmáticas. Outras formações de menor relevância são a formação Isnotu e a formação Betijoque, as duas pertencem ao Cretáceo e suas rochas são predominantemente sedimentares como: siltito, Arenito, e xisto. Para ter uma melhor compreensão da geologia da bacia a seguir na tabela 6 é apresentada a quantificação das formações geológicas, e no mapa 6, exibisse o mapa geológico da bacia hidrográfica do rio Castán.

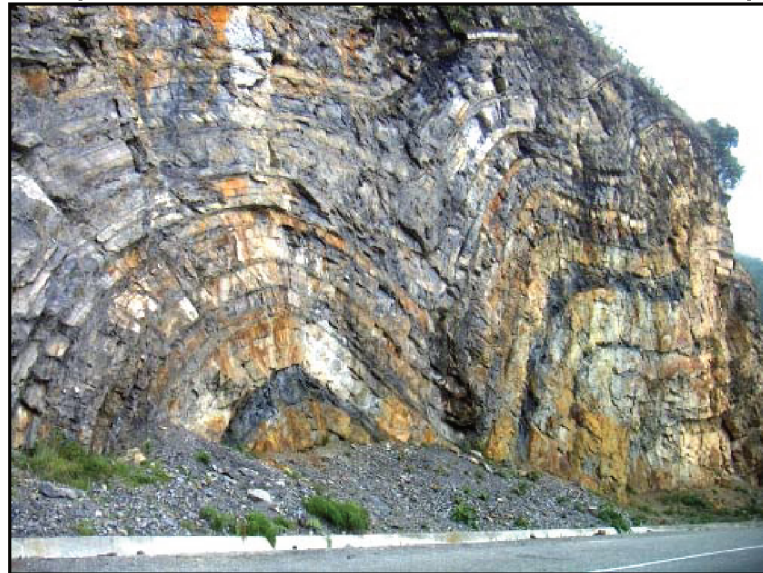
Tabela 6. Quantificação das Formações geológicas.

Formações geológicas	Principais rochas	Area ocupada	
		(km <sup>2</sup> )	(%)
Aluviones	Material não consolidado (cascalho, areia, limo, argila)	12,2	3,06
Betijoque	Siltito, Arenito, e xisto	11,1	2,81
Isnotu	Siltito, Arenito, e xisto	2,2	0,55
La Luna	Calcário, Xisto argiloso	10,3	2,61
Apon	Siltito, Arenito, rudito e xisto argiloso	30,5	7,67
La Quinta	Siltito, Arenito, rudito e xisto argiloso	26,6	6,69
Rio Momboy	Ardósia laminadas e ardósia limosas	274,2	69,08
Iglesia	Gnaisse bandeado	29,9	7,52

Fonte: Materano, L. S. (2019).

Na seguinte imagem (Figura 3) se apresenta uma dobra geológica, que ficou à mostra ao fazer a estrada que comunica as cidades de Trujillo e Boconó e que se encontra localizada na área de estudo.

Figura 3. Dobra Geológica Peñas Altas, (9°25'19'' Lat. N. 70°19'10'' Long. O)



Fonte: Materano, L. S. (2019).

#### **4.1.6- Uso da terra e cobertura vegetal nativa**

A cobertura natural nativa que ocupa a maior extensão territorial na bacia do rio Castán é Arbustivos - Subarbórea Aberta, a qual representa 40% do total da bacia, a Pastagem e a Arbórea Densa são as áreas que seguem em representação porcentual, e as menos representativas são as que correspondem ao solo exposto e os mosaico de Ocupações (Povoados Rurais-Cultivos). A mancha urbana representa 2,1% da extensão da bacia, o que são aproximadamente 8,44 km<sup>2</sup>.

A cobertura Arbórea Densa, tem como características uma vegetação adaptada a um clima mais frio, a alta incidência de chuvas e a intensa radiação ultravioleta, no caso da bacia do rio Castán, esta é especificamente floresta seca de montanha, a Arbustivos - Subarbórea Aberta como já seu nome indica tem menos espessura, é comum a presença de floresta nas imediações das drenagens. No caso da pastagem é um tipo de vegetação de menor envergadura e está presente nas zonas de transição entre as florestas e as zonas de intervenção antrópica.

Com a intenção de validar o mapa de Cobertura vegetal nativa e o uso da terra, foram realizadas visitas in loco ademais de verificação de imagens de maior resolução espacial caso







das obtidas pela ferramenta Google Earth. Na tabela 7, se apresenta a quantificação dos diferentes tipos de cobertura e uso da terra, depois no quadro 4 são apresentadas algumas das imagens conseguidas durante a visita de campo, com suas localizações absolutas e, finalmente, é apresentado o mapa correspondente a este item (Mapa 7).

Tabela 7. Quantificação dos tipos de cobertura e uso da terra.

Uso da terra e cobertura vegetal nativa	Área ocupada	
	(km <sup>2</sup> )	Área (%)
Arbórea Densa	65,37	16,5
Arbustivos - Subarbórea Aberta	158,78	40,0
Pastagem	129,34	32,6
Mosaico de Ocupações (Povoados Rurais-Cultivos)	19,05	4,8
Solo exposto	15,96	4,0
Mancha urbana	8,44	2,1

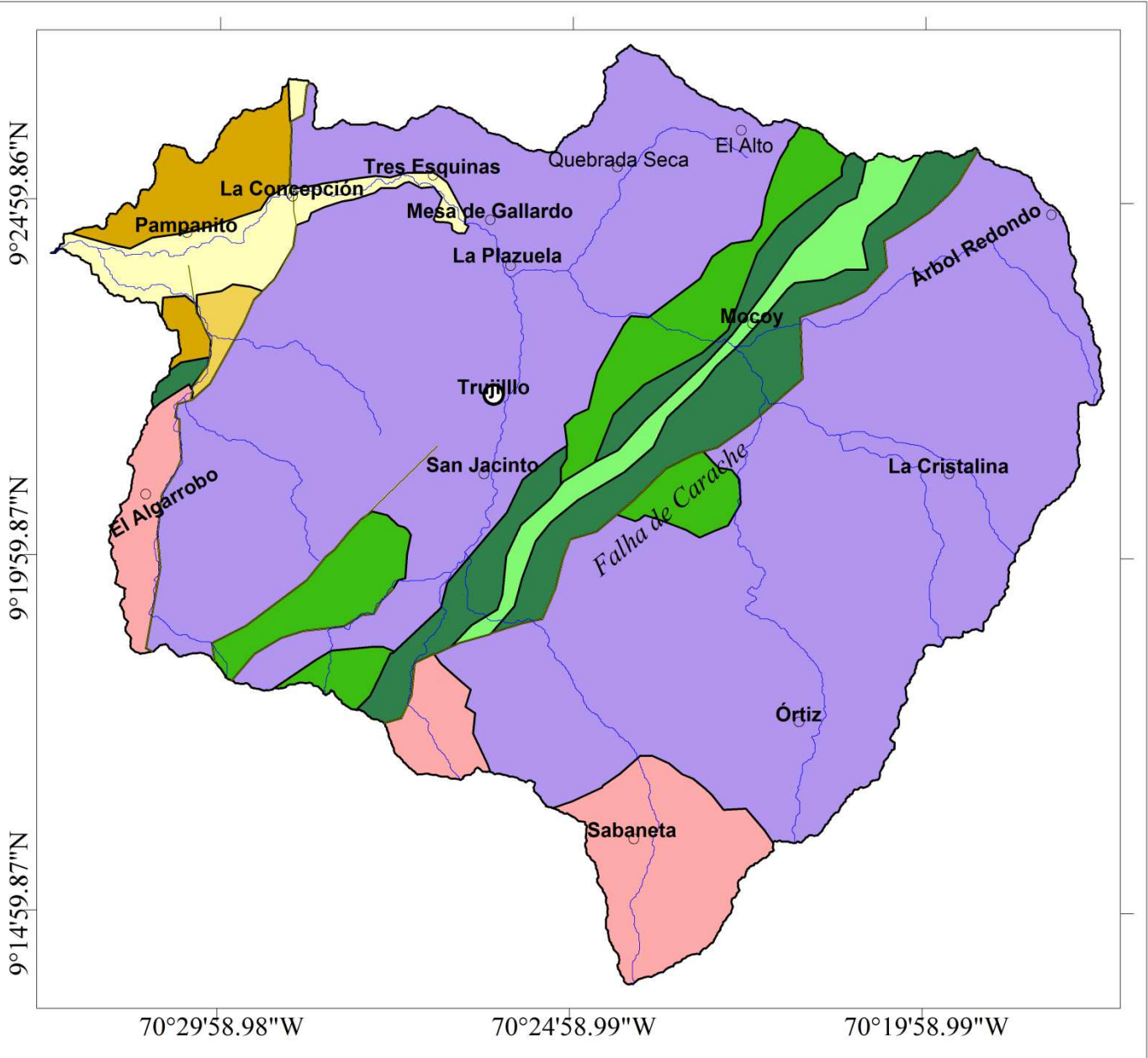
Fonte: Materano, L. S. (2019).

Quadro 4. Validação mediante vistas in loco.

<b>Arbórea Densa</b>		<b>Arbustivos</b>	
	<b>Lat.: 09°20'41"N Long.: 70°27'50"W</b>		<b>Lat.: 09°20'15"N Long.: 70°26'20"W</b>
<b>Pastagem</b>		<b>Mosaico de culturas</b>	
	<b>Lat.: 09°25'01"N Long.: 70°24'29"W</b>		<b>Lat.: 09°18'26"N Long.: 70°27'31"W</b>
<b>Solo exposto</b>		<b>Mancha Urbana</b>	
	<b>Lat.: 09°24'14"N Long.: 70°21'47"W</b>		<b>Lat.: 09°21'57"N Long.: 70°26'12"W</b>

Fonte: Materano, L. S. (2019).

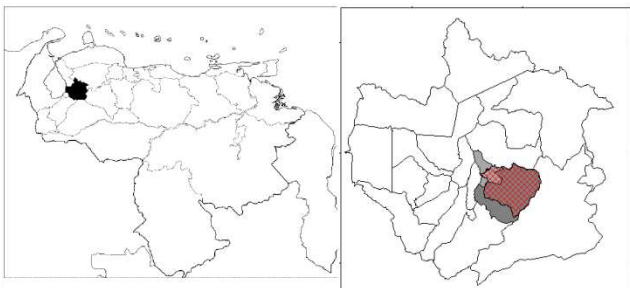
Mapa 6: Unidades Geológicas da bacia hidrográfica do rio Castán



Localização da área de estudo

Nacional

Estadual



Referencial Geodesico: SIRGAS-REGVEN



Legenda

Formações Geológicas

- Qal- Aluvião (Pleistoceno-Holoceno)
- Tbe - Betijoque Fm. (Mioceno-Plioceno)
- Ti - Isnotú-Fm. (Mioceno)
- Ku- La Luna Fm. (Cretácico Temprano)
- Kla - Apón Fm. (Cretácico Temprano)
- Jlq - La Quinta Fm. (Jurásico)
- CPrm - Rio Momboy. Membro (Carbonífero-Pérmico)
- Zi-Iglesia Grupo (Proterózoico Tardio)

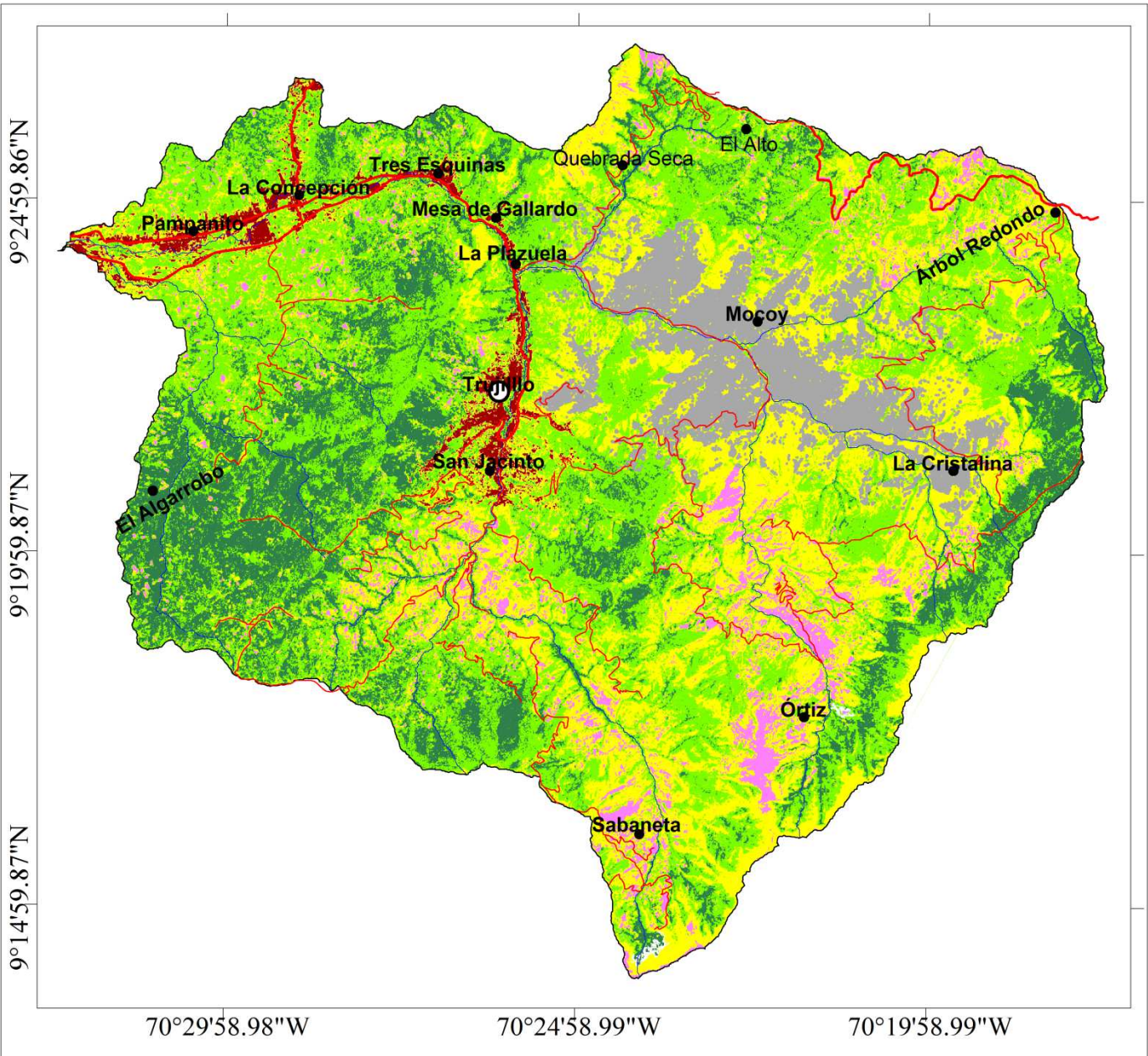
- Limite da bacia
- Rede de drenagens

- Capital
- Localidades



Zonamento Ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

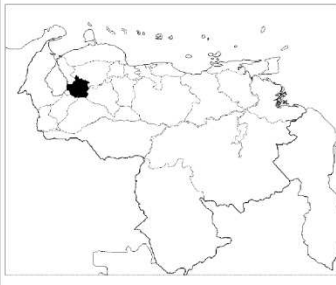
Mapa 7: Uso da terra e cobertura vegetal nativa na bacia hidrográfica do rio Castán



Localização da área de estudo

Nacional

Estadual



Referencial Geodesico: SIRGAS-REGVEN



Legenda

Cobertura vegetal nativa / Uso da terra

- Arbórea Densa
- Arbustivos - Subarbórea Aberta
- Pastagem
- Mosaico de Ocupações (Povoados Rurais-Cultivos)
- Solo Exposto
- Mancha Urbana

- Vias Principais
- Vias Rurais

- Capital
- Localidades

- Limite da bacia

**UFU** Universidade Federal de Uberlândia

Pos-Graduação em Geografia

**IG**

Zoneamento Ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

#### 4.1.7- Solos

A classificação apresentada tem suas origens na proposta feita pelo Serviço de Conservação dos Solos (EUA) e estabelece suas capacidades com fins agropecuários. O tipo de solo com maior representatividade na bacia hidrográfica do rio Castán é o solo de tipo VII (em suas três subcategorias: VII\_Te(1)-O , VII\_Te(2)-P , e VII\_Te\_(4)-R) computando 59% da superfície da bacia, esses são solos residuais, o que é sinônimo de que permanecem no local de decomposição rocha que lhes deu origem, nestes tipo de solo o risco á erosão é alto, a fertilidade natural é baixa e tem pouca profundidade efetiva, dependendo de características associadas com a declividade pode ser recomendado o cultivo de certos itens agrícolas como café, hortaliças ou só seu uso recreativo.

O outro tipo de solo que segue por sua proporção é o tipo VIII (categorias: VIII\_Te(1)-S e VIII\_Te(3)-U), que representam 29% do território; estes também são solos residuais, com grandes riscos de erosão e relevo ondulado ou quebrado , o que limita seu uso agrícola a práticas conservacionistas ou com grandes cuidados ambientais.

Em menores proporções se tem solos de tipo V e VI. Estes solos são característicos de relevos com menores declividades localizando-se no vale do rio Castán e em algumas zonas nas divisórias de água. Outro tipo de solo que tem presença na bacia é o distintivo de Páramo, esses são recomendados para a recreação e a vida silvestre devido às baixas temperaturas do entorno, é muito difícil que prosperem cultivos agrícolas. A tabela 8 indica a área ocupada pelos diferentes tipos de solos, e suas principais características. No mapa 8 apresenta a espacialização dos solos na bacia do rio Castán.

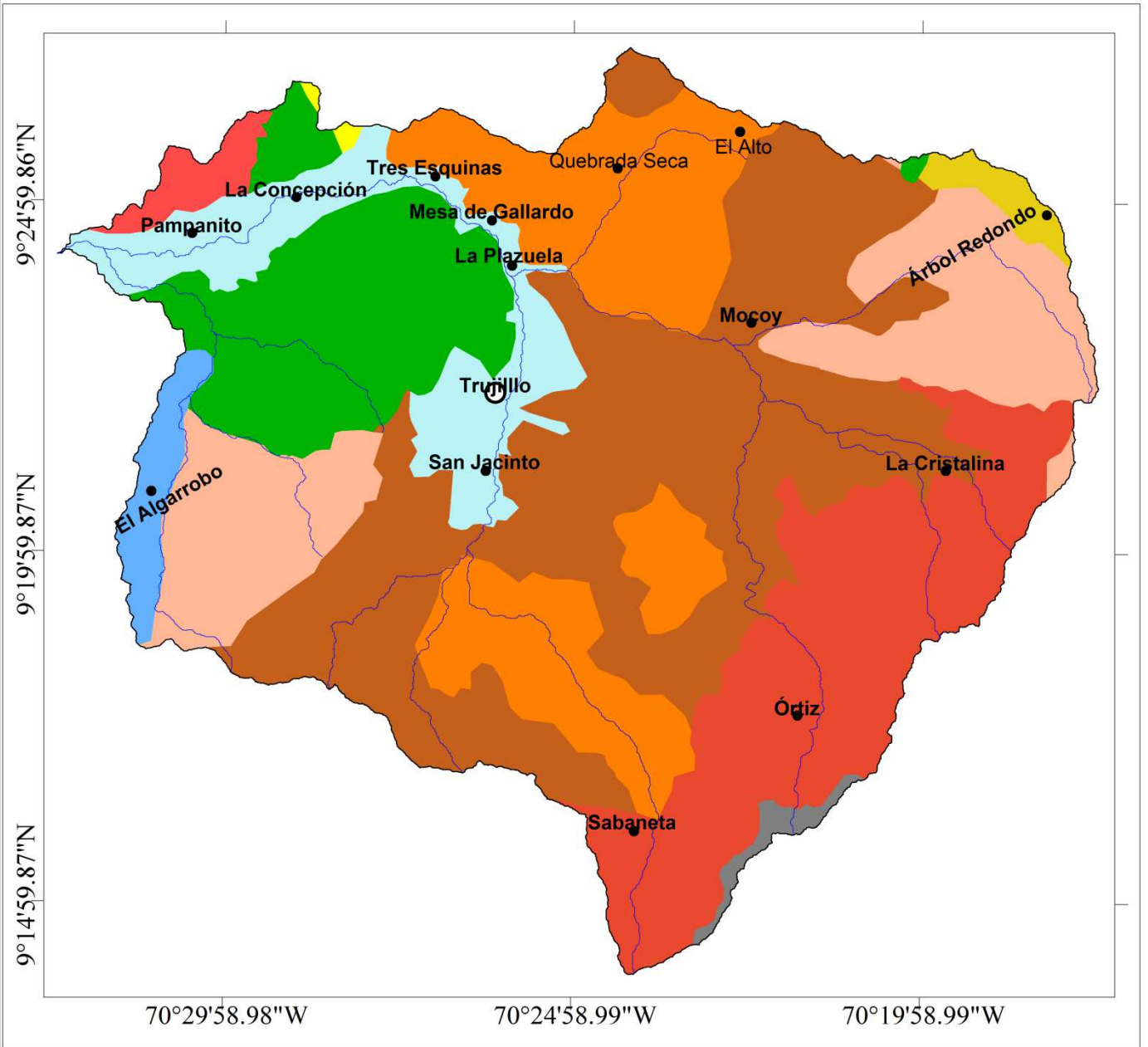
Tabela 8. Quantificação e características dos solos.

Solos			Características Principais	Área ocupada	
Classe	Subclasse	Tipo		(km <sup>2</sup> )	(%)
II	II Swf	B	Solos aluviais com algumas limitações requerem poucas práticas de manejo. Moderada a débil suscetibilidade à erosão. Baixa fertilidade natural, moderada profundidade efetiva, problemas débil de drenagem.	0,6	0,15
V	V St	G	Solos residuais, média fertilidade natural, pouca profundidade efetiva, pedregoso no perfil, problemas de seca.	7,3	1,84
V	V Tc	H	Solos aluviais ocupando eixos fluviais com problemas de seca, fertilidade moderada.	30,1	7,60
VI	VI Tc (2)	L	Solos residuais com moderados a graves problemas de erosão, grandes problemas de seca; presença de pedras no perfil e na superfície, moderada fertilidade natural e pouca profundidade efetiva.	3,9	1
VI	VI Te	J	Solos residuais com moderados a graves problemas de erosão, grandes problemas de seca; presença de pedras no perfil e na superfície, moderada fertilidade natural e pouca profundidade efetiva.	5,3	1,31
VII	VII Te(1)	O	Solos residuais com pendente pronunciada, alto risco à erosão, baixa fertilidade natural e pouca profundidade efetiva.	123,1	31,02
VII	VII Te (2)	P	Solos residuais, alto risco à erosão.	65,1	16,39
VII	VII Te (4)	R	Solos residuais, alto risco à erosão, baixa fertilidade natural e pouca profundidade efetiva.	45,5	11,46
VIII	VIII Te (1)	S	Solos residuais fortemente ondulados, alta suscetibilidade à erosão.	62,4	15,72
VIII	VIII Te(3)	U	Solos residuais com relevo fortemente ondulado; alta suscetibilidade à erosão.	51,1	12,87
Páramo	----	--	Solos residuais com relevo fortemente ondulado; alta suscetibilidade à erosão.	2,53	0,64

Fonte: Materano, L. S. (2019) adaptado com dados da Universidad del Zulia.



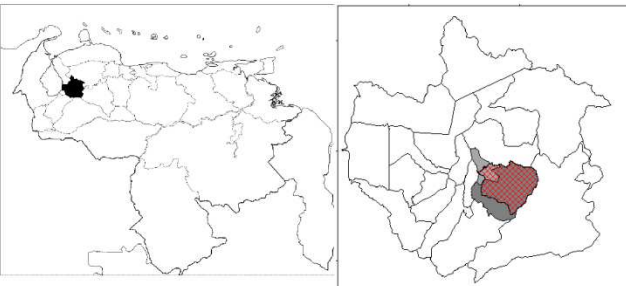
Mapa 8: Solos da bacia hidrográfica do rio Castán



Localização da área de estudo

Nacional

Estadual



Legenda

Tipos de Solos

II Swf-B	VII-Te(2)-P
V-St-G	VII-Te(4)-R
V-Tc-H	VIII-Te(1)-S
VI-Tc(2)-L	VIII-Te(3)-U
VI-Te-J	Páramo
VII-Te(1)-O	

Referencial Geodesico: SIRGAS-REGVEN



— Limite da bacia  
— Rede de drenagens

○ Capital  
● Localidades

Zoneamento Ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

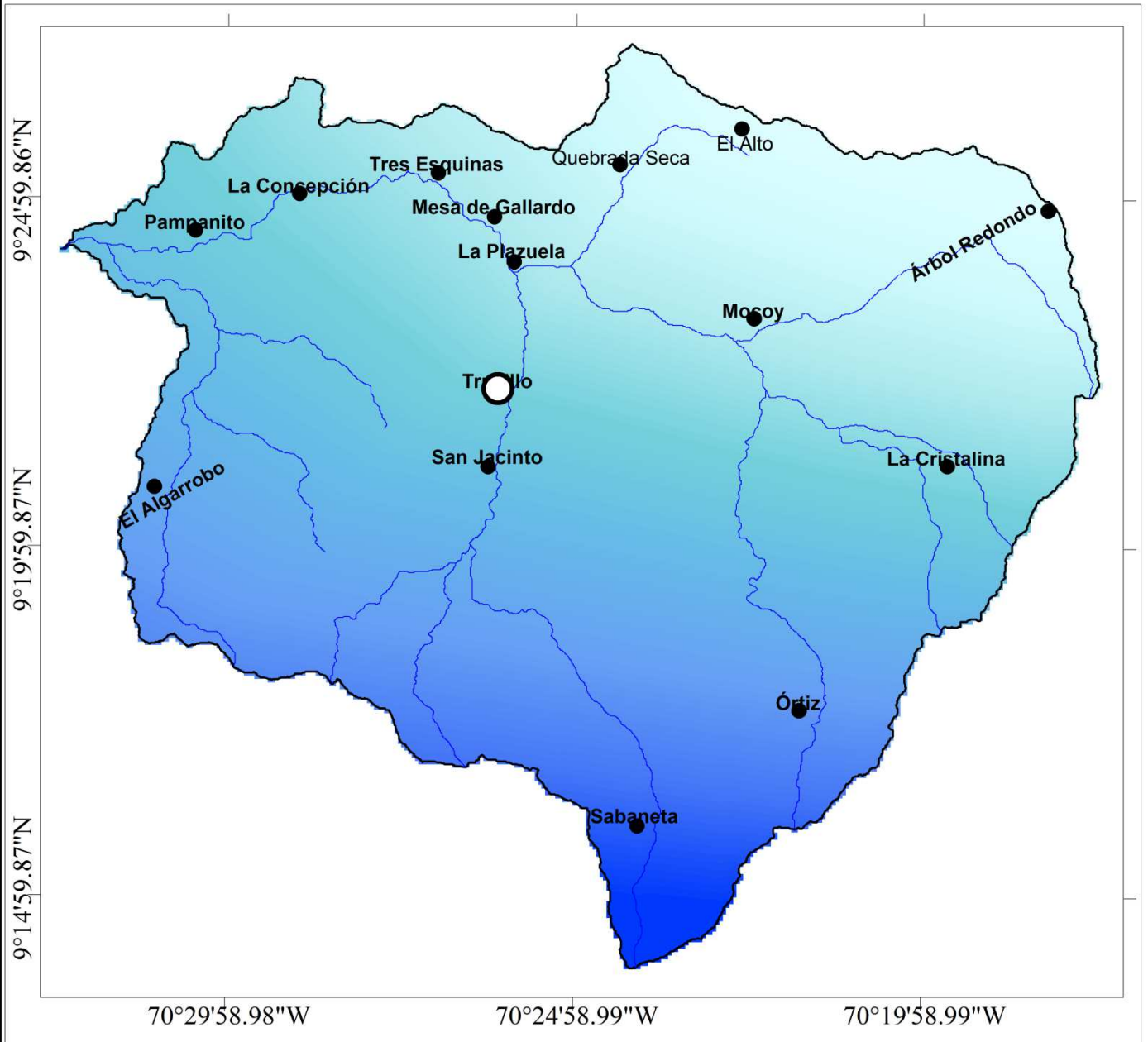
#### **4.2.1- Precipitações**

O arquétipo de chuvas corresponde ao padrão bimodal, próprio da bacia do Lago de Maracaíbo, com duas máximas de precipitação anuais uma em maio e outra em outubro, a meia anual (CORPORACIÓN DE LOS ANDES, 2006) é de 1.500 mm anuais. No mapa exibido a seguir (mapa 9) pode-se notar que a máxima precipitação se localiza na região sul da bacia em quanto a mínima corresponde às regiões localizadas regiões norte da mesma, influenciando de maneira direta o comportamento da vegetação, embora seja uma variação pouco significativa.

#### **4.2.2 Temperatura**

O padrão de temperaturas é de tipo megatérmico com uma temperatura média anual  $>25$  °C, como foi dito com anterioridade a altitude é um fator modificador das temperaturas nas zonas de montanhas, deste modo, os setores com maior altitude da bacia apresentam temperaturas até baixo de 10 °C e os setores localizados em altitudes inferiores aos 800 m ostentam temperaturas superiores aos 20 °C. O mapa 10, intitulado Temperatura na bacia do rio Castán apresenta a distribuição da temperatura.

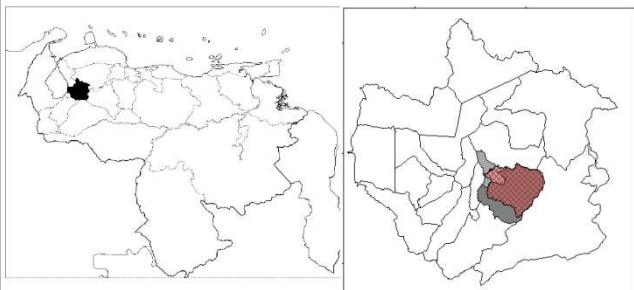
Mapa 9: Precipitações na bacia hidrográfica do rio Castán



Localização da área de estudo

Nacional

Estadual

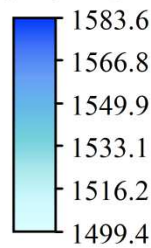


Referencial Geodesico: SIRGAS-REGVEN



Legenda

Precipitações (mm) 1997-2017



— Limite da bacia

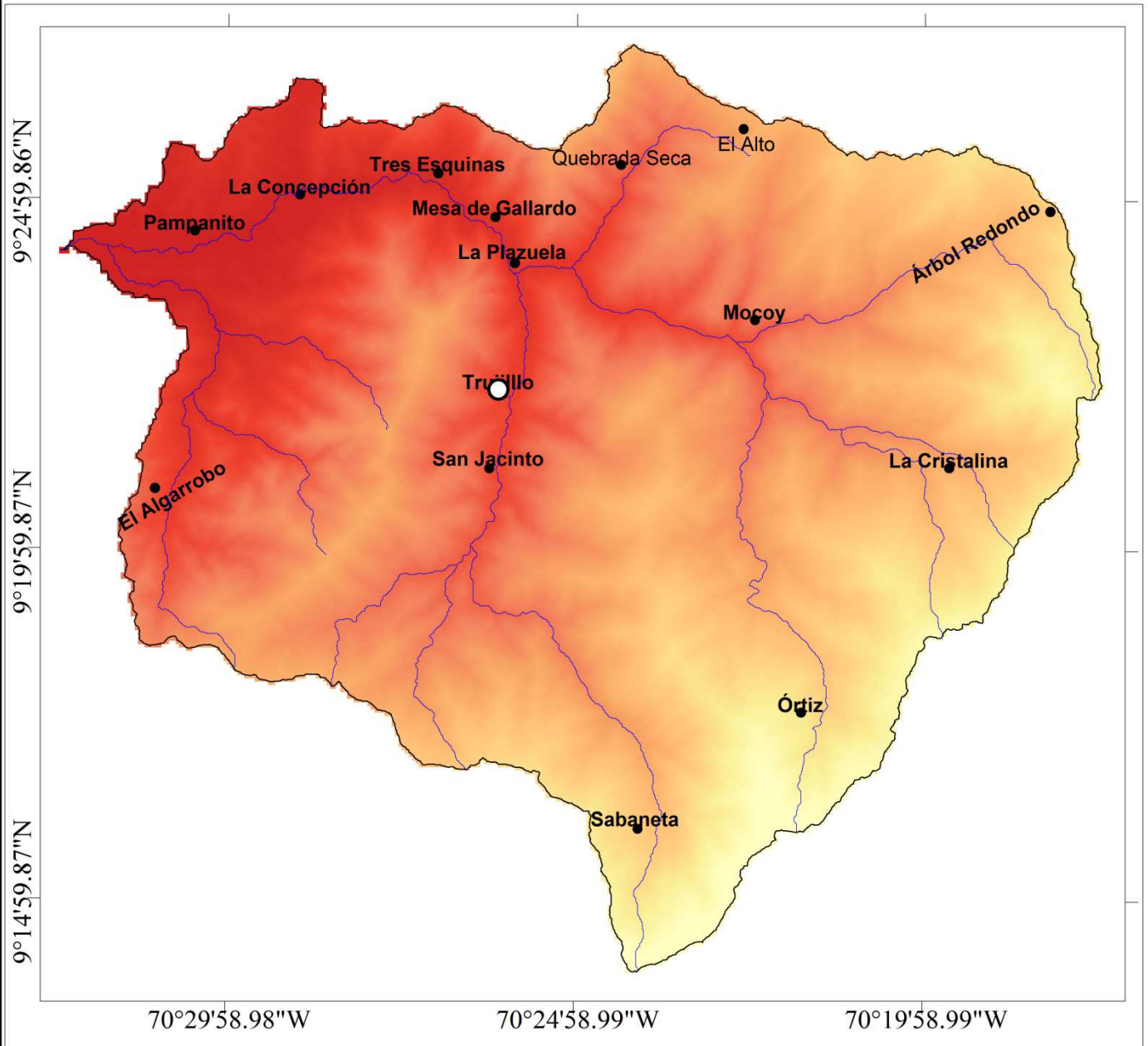
○ Capital

● Localidades



Zoneamento Ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

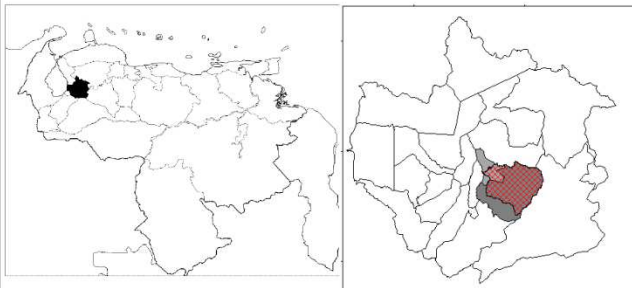
Mapa 10: Temperaturas na bacia hidrográfica do rio Castán



Localização da área de estudo

Nacional

Estadual

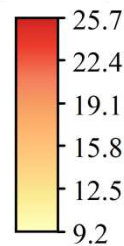


Referencial Geodesico: SIRGAS-REGVEN



Legenda

Temperatura (°C) 1997-2017



— Limite da bacia

○ Capital

● Localidades

**UFU** Universidade Federal de Uberlândia



Zonamento Ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

### 4.3- Aspectos populacionais

#### 4.3.1- Distribuição da população

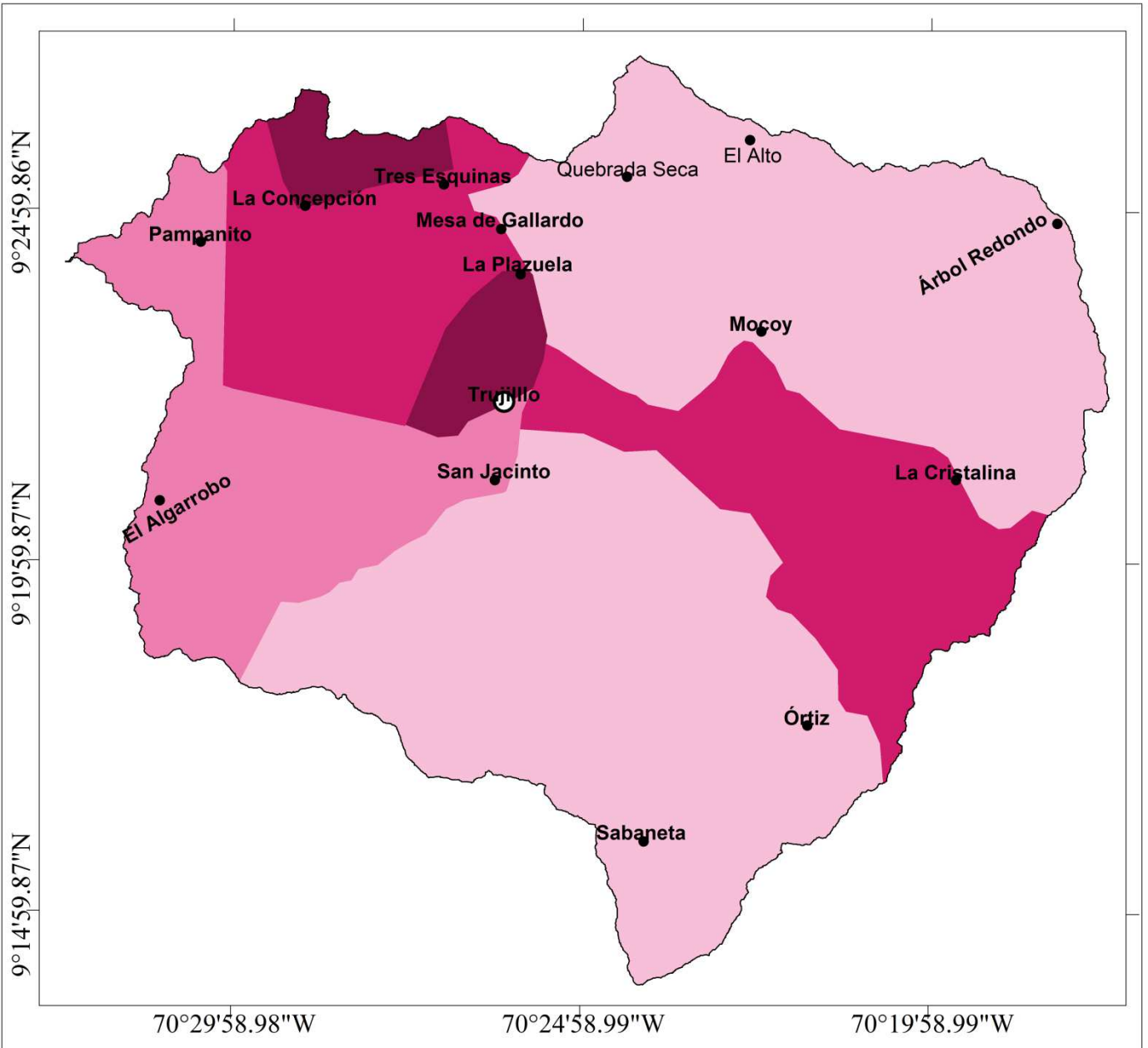
A população na Bacia do rio Castán é de aproximadamente 79.275 habitantes somando a população das paróquias: Chiquinquirá, Cristobal Mendoza, Cruz Carrillo, Matriz, Monseñor Carrillo e Tres Esquinas, pertencentes ao município Trujillo, e as paróquias: La Concepción, Pampanito e Pampanito II do município Pampanito, já que partes desse território também estão na Bacia do rio Castán. O município Trujillo é o quarto município com maior população depois de Valera, Boconó e San Rafael de Carvajal (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS, 2014). A seguir, na tabela 9, é apresentada a quantificação da população na bacia do rio Castán considerando as mencionadas paróquias e logo no mapa 11, é exibida a Densidade Demográfica da bacia estudada.

Tabela 9. Quantificação da população presente na bacia hidrográfica do rio Castán.

		Parroquia	População (2011)
Município	Trujillo	Andrés López	3459
		Chiquinquirá	8531
		Cristobal Mendoza	15443
		Cruz Carrillo	4143
		Tres Esquinas	5681
		Matriz	11363
		Monseñor Carrillo	5593
	Pampanito	La Concepción	5434
		Pampanito	12855
		Pampanito II	10232

Fonte: Instituto Nacional de Estadísticas, 2014.

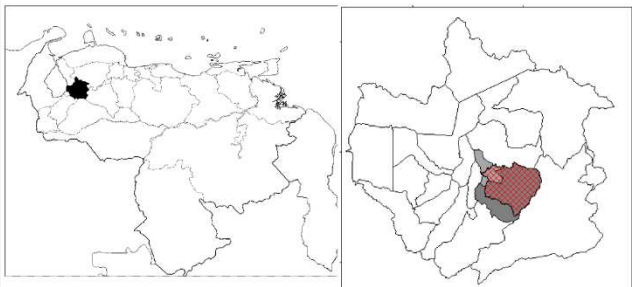
Mapa 11: Densidade demográfica na bacia hidrográfica do rio Castán



Localização da área de estudo

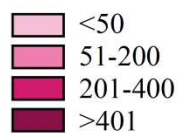
Nacional

Estadual



Legenda

Densidade demográfica (Hab/Km<sup>2</sup>)



— Limite da bacia

○ Capital  
● Localidades

Referencial Geodesico: SIRGAS-REGVEN

**UFU** Universidade Federal de Uberlândia

Pos-Graduação em Geografia

**IG**

Zoneamento Ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

## RESULTADOS E ANÁLISE

A seguir serão apresentados as diferentes fases na aplicação do AHP como método de integração de dados espaciais. Serão expostas: a tabela de comparação pareada entre os fatores e os pesos calculados, a medida global de consistência da matriz (RC), e a equação definitiva da combinação linear ponderada para a realização de cada diagnóstico, estes necessários para finalmente obter o zoneamento ambiental como subsídio para o ordenamento da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

### 5.1- Diagnósticos de fragilidade ambiental e potencialidade do território

A normalização das camadas consistiu numa reclassificação por intermediário do método do valor Máximo, levando em consideração critérios das distintivas próprias de cada camada e das atividades estabelecidas, associadas às mesmas com características conducentes aos diagnósticos de fragilidade ambiental e potencialidade do território. A necessidade da normalização surge em virtude de que as camadas geradas têm diferentes significados, então para poder compará-los e integrá-los na etapa de geração dos produtos demanda-se standardizar suas legendas numa escala de medida comum.

Logo da normalização foi feita à concretização da matriz de comparação pareada; a seleção dos critérios corresponde a características amplamente utilizadas e que incluem distintivas meramente ambientais como, por exemplo, os tipos de solo, outras mais dinâmicas como o uso do solo e cobertura vegetal nativa, além de usar outras alegóricas com fatos sociais como a distância até os centros povoados; que sem lugar a dúvida inserem dinamismo ao produto final.

Para o preenchimento das matrizes foi usada a escala de medição para critérios binários do AHP proposto por Saaty, (Capítulo III, tabela 1), além dos níveis de importância para a matriz de comparação par a par foram definidos tendo em consideração o julgamento técnico de especialistas de acordo com a finalidade do método como resultado conseguiu-se o quadro 5 para o diagnóstico de fragilidade ambiental e o quadro 6 para o diagnóstico de potencialidade do território.

Quadro 5. Matriz de Comparação Pareada suporte do AHP para o diagnóstico de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

Critérios	Precipitação	Distância até as drenagens e nascentes	Solos	Declividade
Precipitação	1,00	2,00	3,00	1,00
Distância até as drenagens e nascentes	0,50	1,00	3,00	0,33
Solos	0,33	0,33	1,00	0,33
Declividade	1,00	3,00	3,00	1,00

Fonte: Materano, L. S. (2019).

Quadro 6. Matriz de Comparação Pareada suporte do AHP para o diagnóstico de potencialidade do território da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

Critérios	Unidades geomorfológicas	Uso da terra e cobertura vegetal nativa	Distância até centros povoados
Unidades geomorfológicas	1,00	0,33	3,00
Uso da terra e cobertura vegetal nativa	3,00	1,00	5,00
Distância até centros povoados	0,33	0,20	1,00

Fonte: Materano, L. S. (2019).

Conseguiu-se como fator de maior importância na avaliação da fragilidade ambiental, a declividade do terreno, representando 37,5% de importância para a avaliação multicritério, seguida da Precipitação com um 33,6%, logo se posicionou a camada de Distância até as drenagens e nascentes com 19%, e com o menor peso estão os solos representando apenas 9,9%. No quadro7, apresentado a continuação se detalham os valores mencionados.



Quadro 7. Pesos finais por ordem decrescente de importância para o diagnóstico de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela (numéricos e em porcentagem)

<b>Fatores</b>	<b>Pesos finais</b>	<b>Pesos porcentagem</b>
Declividade	0,375	37,5%
Precipitação	0,336	33,6%
Distância até as drenagens e nascentes	0,190	19%
Solos	0,099	9,9%
<b>Total (<math>\Sigma</math>)</b>	<b>1</b>	<b>100%</b>

Fonte: Materano, L. S. (2019).

No que diz respeito ao diagnóstico de potencialidade do território obteve-se como fator de maior importância o uso da terra e cobertura vegetal nativa com 3,3% de importância na para a avaliação multicritério, seguida das unidades geomorfológicas com 26% de importância relativa, e finalmente a distância até centros povoados as representam 10,6%. No quadro 8, amostrado a seguir se detalham os valores mencionados, no seus pesos finais e percentuais.

Quadro 8. Pesos finais por ordem decrescente de importância para o diagnóstico de potencialidade do território da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela. (numéricos e em porcentagem)

<b>Fatores</b>	<b>Pesos finais</b>	<b>Pesos porcentagem</b>
Uso da terra e cobertura vegetal nativa	0,633	63,3%
Unidades geomorfológicas	0,260	26%
Distância até centros povoados	0,106	10,6%
<b>Total (<math>\Sigma</math>)</b>	<b>1</b>	<b>100%</b>

Fonte: Materano, L. S. (2019).

Para o cálculo do IC e a RC da AHP, foi necessário após do cumprimento dos procedimentos de estruturação da matriz de comparação pareada, sua normalização e cálculo de autovetores. A continuação nos quadros 9 e 10 são apresentadas as matrizes comparativas normalizadas dos grupo de critérios tanto para o diagnóstico de fragilidade quanto para o diagnóstico de potencialidade, com sua respectiva coluna de vetor de eigen e de eigen principal ( $\lambda_{Max}$ ), para obter esse valor é necessário a aquisição da média das consistências, que é o somatório do produto de cada valor atribuído na comparação par a par, da matriz principal de fatores de importância, dividido pelo vetor de eigen encontrado para cada fator. Vale lembrar que o eigen principal ( $\lambda_{Max}$ ), é utilizado para a verificação estatística por intermediário das equações apresentadas com anterioridade.

Quadro 9. Matriz comparativa normalizada do grupo de critérios relativos ao diagnóstico de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela com o cálculo de autovetores e eigen principal ( $\lambda_{Max}$ ).

Critérios	Precipitação	Distância até as drenagens e nascentes	Solos	Declividade	Vetor de Eigen	Eigen Principal ( $\lambda_{Max}$ )
Precipitação	0,35	0,32	0,30	0,38	1,387	4,130
Distância até as drenagens e nascentes	0,18	0,16	0,30	0,13	0,779	4,106
Solos	0,12	0,05	0,10	0,13	0,399	4,040
Declividade	0,35	0,47	0,30	0,38	1,577	4,202
Eigen Principal $\lambda_{Max}$						4,119

Fonte: Materano, L. S. (2019).

Quadro 10. Matriz comparativa normalizada do grupo de critérios relativos ao diagnóstico de potencialidade do território da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela com o cálculo de autovetores e eigen principal ( $\lambda_{Max}$ ).

Critérios	Unidades geomorfológicas	Uso da terra e cobertura vegetal nativa	Distância até centros povoados	Vetor de Eigen	Eigen Principal ( $\lambda_{Max}$ )
Unidades geomorfológicas	0,23	0,22	0,33	0,790	3,033
Uso da terra e cobertura vegetal nativa	0,69	0,65	0,56	1,946	3,072
Distância até centros povoados	0,08	0,13	0,11	0,320	3,011
Eigen Principal $\lambda_{Max}$					3,039

Fonte: Materano, L. S. (2019).

Consequente com a construção das matrizes se procede a conseguir o índice de consistência (IC) como passo prévio para a construção da Medida de Consistência Global da

Matriz. Usou-se a equação 2, exposta com anterioridade e a seguir no quadro 11, são apresentados os resultados obtidos para os dois diagnósticos.

Quadro 11. IC para os dados relacionados ao diagnóstico de fragilidade ambiental e para o diagnóstico de potencialidade do território da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

<b>Diagnóstico de fragilidade ambiental</b>	<b>Diagnóstico de potencialidade do território</b>
$IC = \frac{4,119-4}{4-1}$	$IC = \frac{3,039-3}{3-1}$
IC =0,040	IC =0,019

Fonte: Materano, L. S. (2019).

Com a intenção de verificar e validar que os pares e os pesos assinados cumprem com validade estatística, se aplica a RC que foi mencionada com antecedência na equação 1. O procedimento versa a divisão entre o IC, e o IA, este último verificado na tabela de proposta por Saaty (Tabela 2), de acordo com a dimensão da matriz, neste caso 0,90 para o diagnóstico de fragilidade ambiental por ser uma matriz de 4 critérios, e 0,58 para o diagnóstico de potencialidade do território em virtude de que este possui 3 critérios. No quadro 12, são amostrados os resultados de RC obtidos para tanto para o diagnóstico de fragilidade ambiental como para o diagnóstico de potencialidade do território.

Quadro 12. RC para os dados relacionados ao diagnóstico de fragilidade ambiental e para o diagnóstico de potencialidade do território da bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela

<b>Diagnóstico de fragilidade ambiental</b>	<b>Diagnóstico de potencialidade do território</b>
$RC = \frac{0,040}{0,90}$	$RC = \frac{0,019}{0,58}$
RC =0,04	RC =0,03

Fonte: Materano, L. S. (2019).

Se o valor de RC é menor que 0,10 considera-se dentro dos limites aceitáveis. Ou seja, uma consistência apropriada dos juízos, assim, as comparações realizadas neste trabalho foram coerentes e geraram resultados confiáveis, ratificando que a matriz foi preenchida de maneira aleatória e consistente.

Uma vez padronizados e processados os mapas gerados como coberturas de critérios se combinam tomando em consideração os pesos relativos calculados na matriz AHP. A CLP constituiu a técnica de integração das camadas critério, no qual são necessárias ponderações das camadas, em relação ao grau de importância que estas possuem, por sua vez, o peso de cada unidade espacial é consequência da adição dos produtos de cada camada critério por sua ponderação relativa.

A seguir são apresentadas as equações que representam a CLP correspondente para cada diagnóstico, a equação 3 é a utilizada para o diagnóstico de fragilidade ambiental e a equação 4 é corresponde com o diagnóstico de potencialidade do território.




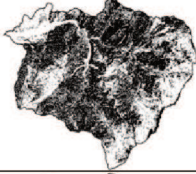


$$\text{Diagnóstico de fragilidade ambiental} = 0,38(\text{Declividade}) + 0,34(\text{Precipitação}) + 0,19(\text{Distância até as drenagens e nascentes}) + 0,10(\text{Solos}) \quad (\text{Equação 3})$$

$$\text{Diagnóstico de potencialidade do território} = 0,26(\text{Unidades geomorfológicas}) + 0,63(\text{Uso da terra e cobertura vegetal nativa}) + 0,11(\text{Distância até centros povoados}) \quad (\text{Equação 4})$$

Após da aplicação da equação 3, obteve-se como produto o mapa temático denominado Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Castán que é amostrado no Mapa 12. É necessário lembrar que a escala inicial do mapa obtido tem uma escala numérica entre 0 e 1, mas como o usuário final demanda uma escala de fácil entendimento foi reclassificado em três classe, que representam o 3 níveis de fragilidade ambiental a saber, Baixa, Moderada e Alta. Para realizar a nomeada reclassificação se uso como base o histograma de frequências e as classes constituem faixas equivalentes.

Na bacia se apresenta 52,80% de sua extensão sob a classe de Moderada fragilidade ambiental, isso são aproximadamente 208,40 km<sup>2</sup>; 31,83% da área total da bacia têm Alta fragilidade ambiental, nessas zonas predominam as maiores declividades, maiores índices pluviométricos, solos erodíveis e estão mais próximas das drenagens e as nascentes; só 15,38% da área total da bacia manifesta Baixa fragilidade ambiental, na tabela 10 a seguir são quantificados os distintos níveis de fragilidade para a bacia estudada.







Tabela 10. Quantificação os distintos níveis de fragilidade ambiental

Nível de fragilidade ambiental		Área ocupada	
		(km <sup>2</sup> )	(%)
		Alta	126,5 31,83
		Moderada	209 52,80
		Baixa	62 15,38

Fonte: Materano, L. S. (2019).

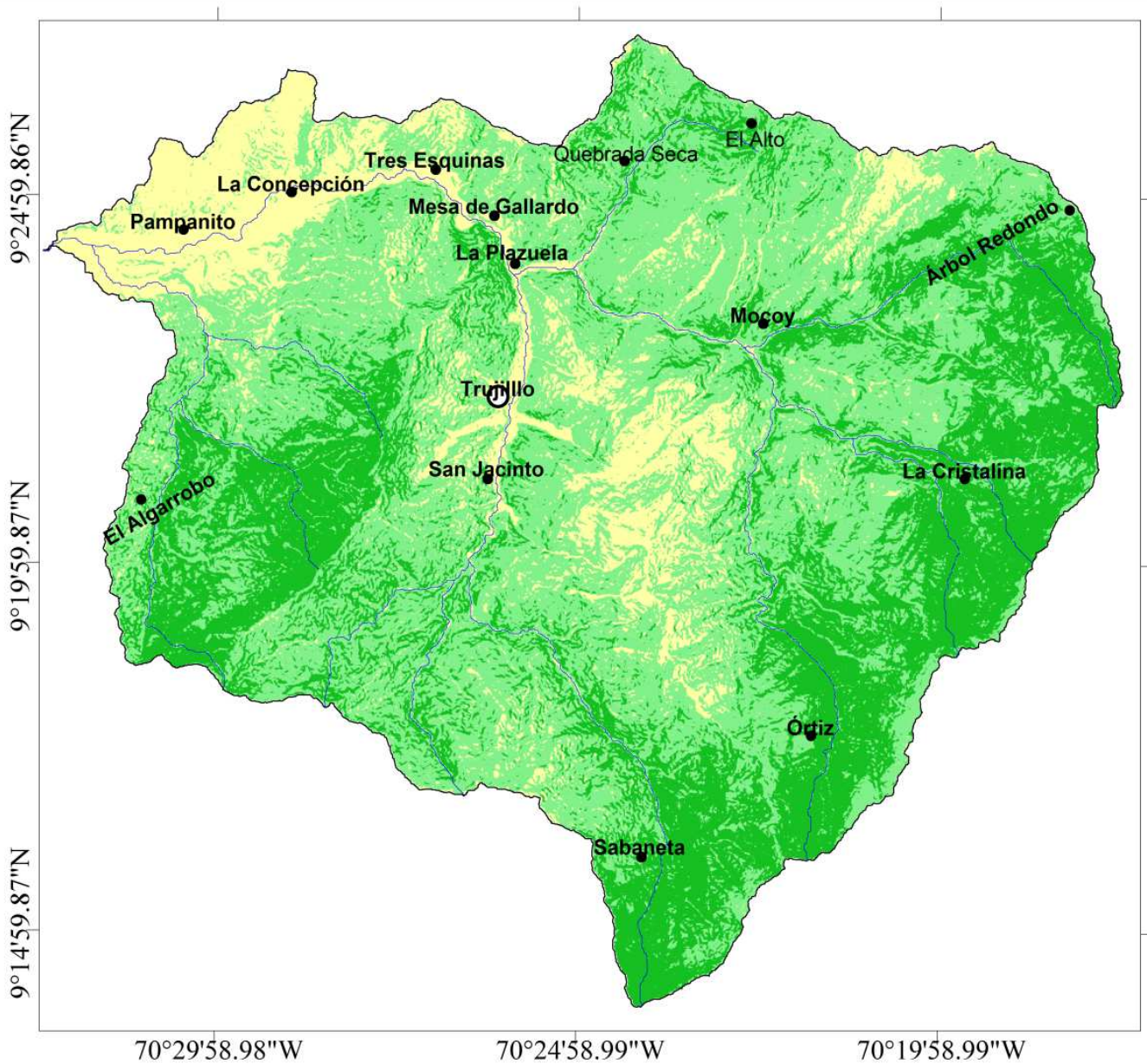
No que respeita com a potencialidade do território logo da aplicação da equação 4 foi alcançado o mapa temático respectivo, que é apresentado a seguir (Mapa 13). Este também foi classificado em 3 níveis de potencialidade: Baixa, Moderada e Alta. A bacia hidrográfica do rio Castán apresenta alta potencialidade só em 12,46% do seu território, moderada potencialidade em uma extensão de 189,54km<sup>2</sup> o que representa aproximadamente o 48,02% do total e finalmente baixa potencialidade em grande porção do território, para ser exatos em 39,52%. A seguir (tabela 11) são quantificados os distintos níveis de potencialidade de forma mais detalhada.

Tabela 11. Quantificação os distintos níveis de potencialidade

Nível de fragilidade ambiental		Área ocupada	
		(km <sup>2</sup> )	(%)
		Alta	49,17 12.46
		Moderada	189,54 48.02
		Baixa	156,01 39.52

Fonte: Materano, L. S. (2019).

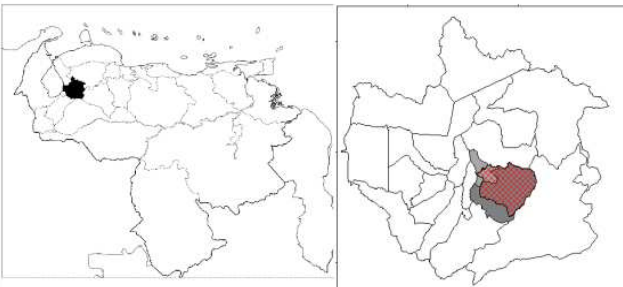
Mapa 12: Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Castán



Localização da área de estudo

Nacional

Estadual



Legenda

Níveis de fragilidade ambiental

- Baixa
- Moderada
- Alta

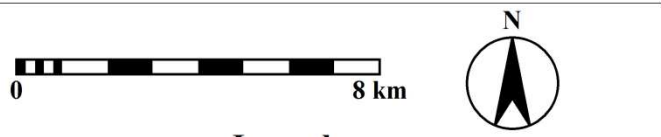
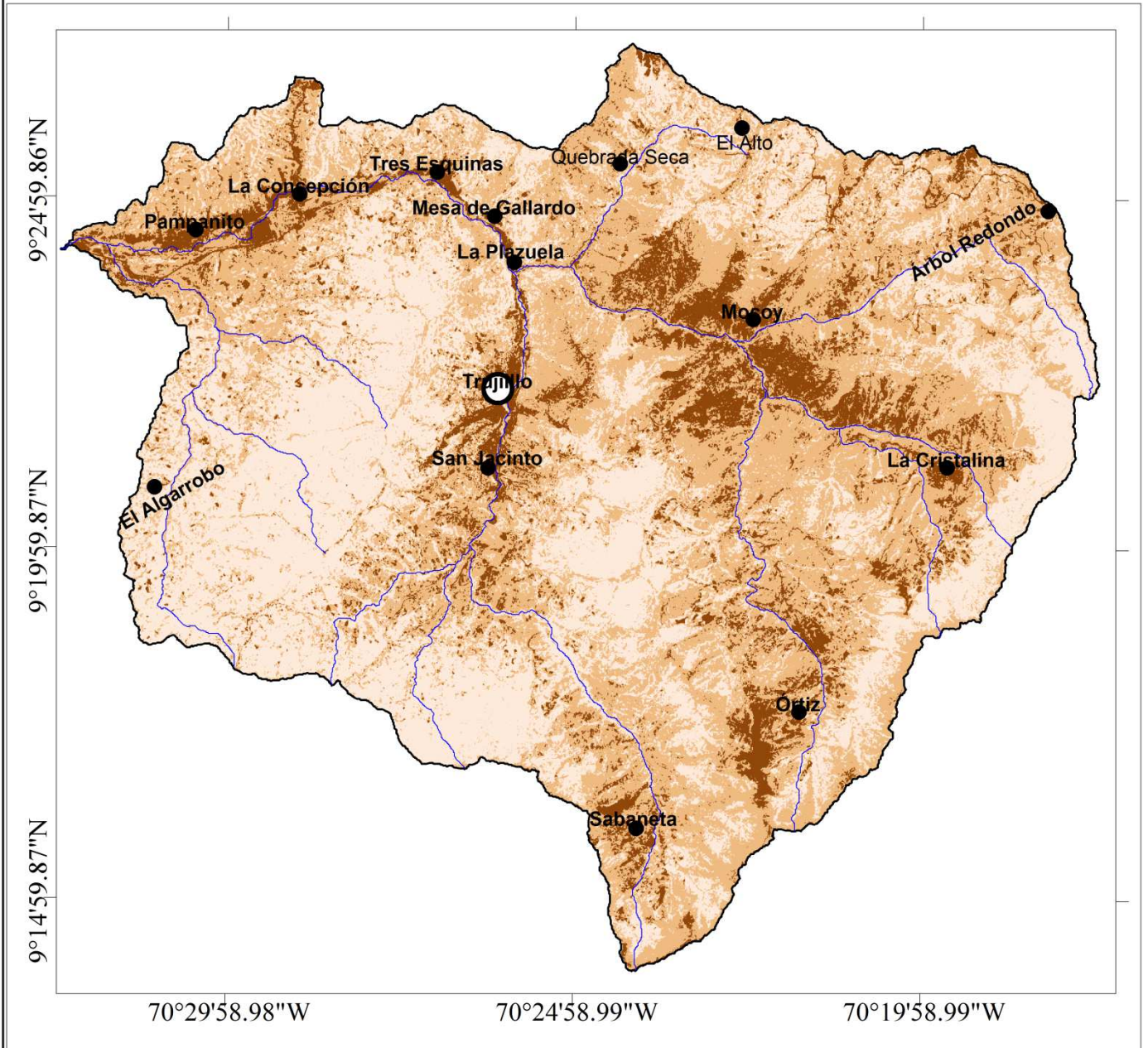
- Limite da bacia
- Capital
- Localidades

Referencial Geodesico: SIRGAS-REGVEN



Zoneamento Ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

**Mapa 13: Potencialidade da bacia hidrográfica do rio Castán**



- Legenda**
- Níveis de potencialidade do
- Baixa
  - Moderada
  - Alta
- Limite da bacia
- Capital
- Localidades

Referencial Geodesico: SIRGAS-REGVEN



Zoneamento Ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

## **5.2- Proposta: zoneamento ambiental para a bacia hidrográfica do rio castán**

Após do cruzamento dos produtos cartográficos derivados a partir dos diagnósticos de fragilidade ambiental e potencialidade do território, são definidas cinco diferentes zonas de manejo: Zonas de ocupação com poucas restrições, Zonas de ocupação não consolidada, Zonas com potencial para a exploração sob medidas de sustentabilidade, Zonas para restauração ecológica e Zonas de proteção permanente, e é apresentado o produto cartográfico final (mapa 14) o qual proporciona a distribuição espacial do zoneamento ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán.

### **5.2.1- Zonas de manejo propostas**

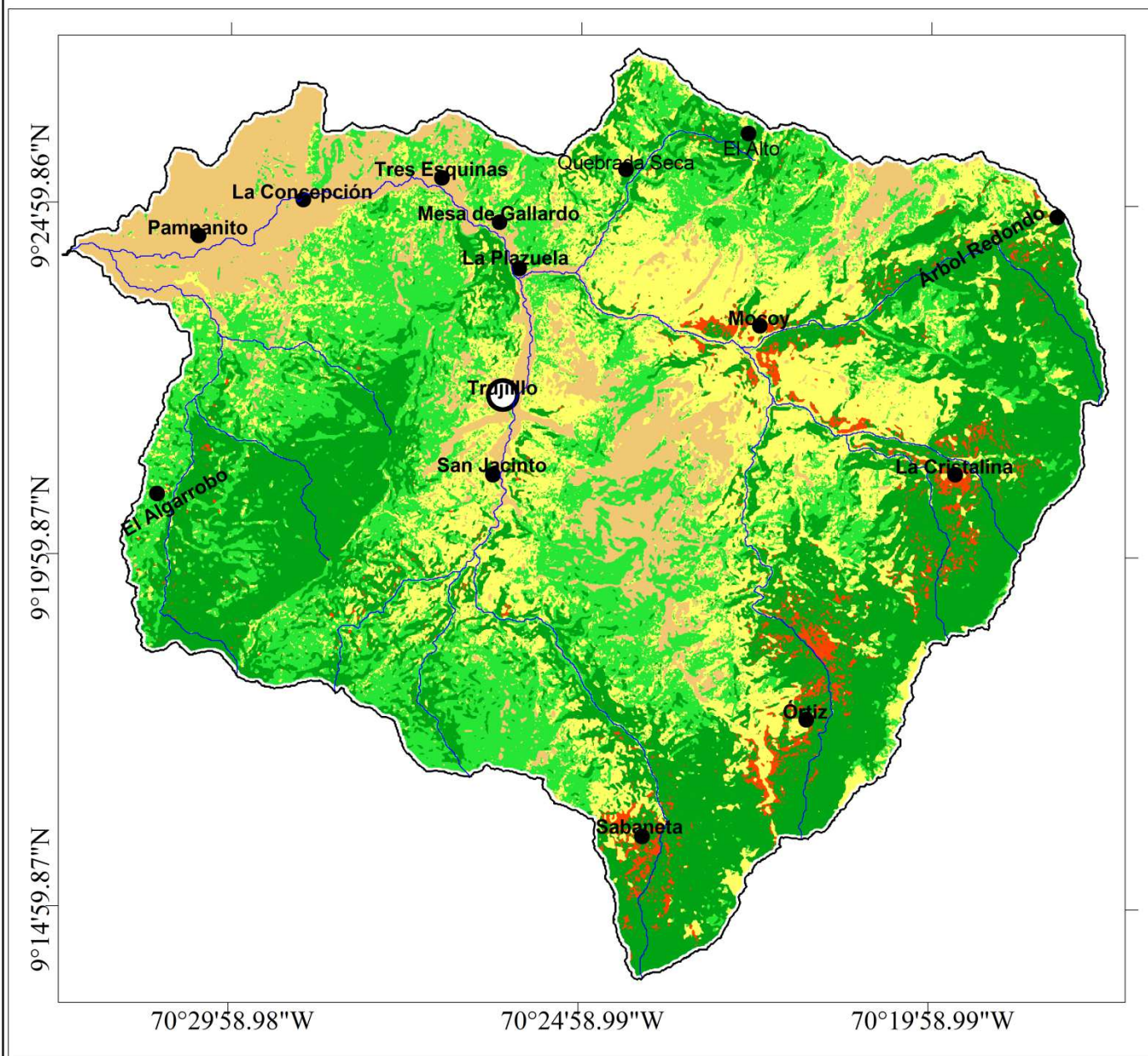
As Zonas de ocupação com poucas restrições constituem as áreas que concentram baixa fragilidade e alta potencialidade, nelas se concentram as populações e as atividades do setor terciário que é a atividade econômica características da bacia hidrográfica do rio Castán, compreende 15,4% da área total, e se distribuem principalmente ao longo do vale do rio, no abanico aluvial onde se concentra a área metropolitana e na zona baixa da bacia no município Pampanito, ademais das zonas ao noroeste da bacia.

Esta zona é a que manifesta menor fragilidade ambiental em virtude de ter menor declividade e solos com maior resistência à erosão dentre outras características, uma particularidade a ser considerada é que grande parte desta zona localiza-se próximas aos rios, sendo necessário o investimento em obras para o controle de enchentes, e promover o respeito da normativa que proíbe as construções nas margens dos rios. Como fator a ser adequado tem que se tratar a distância até o rio principal, e assim evitar enchentes e inundações, que já tem ocorrido na zona baixa da bacia da bacia hidrográfica do rio Castán.

As Zonas de ocupação não consolidada são aquelas áreas onde existe um uso agrícola instituído sobre zonas de alta fragilidade ambiental, assim, sob a impossibilidade de mudança das atividades estabelecidas o melhor é procurar as adequações que levem em consideração à fragilidade ambiental. Estas zonas localiza-se principalmente na parte mais elevada da bacia, e constitui centros povoados como *Sabaneta*, *Ortiz*, e *La Cristalina* onde são comuns atividades agrícolas e desmatamentos para a construção de vias agrícolas sobre áreas frágeis, recomenda se a promoção e exploração do potencial turístico, desenvolvimento de projetos de ecoturismo e mudança para cultivos perenes que tenham um menor impacto ambiental e que permitam o desenvolvimento da população que ali mora.



**Mapa 14: Zoneamento ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán**



**Legenda**

Zonas Ambientais

- Zonas de ocupação com poucas restrições
- Zonas de ocupação não consolidada
- Zonas com potencial para a exploração sob medidas de sustentabilidade
- Zonas para restauração ecológica
- Zonas de proteção permanente

- Limite da bacia
- Capital
- Localidades



Referencial Geodesico: SIRGAS-REGVEN



Zoneamento Ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo-Venezuela.

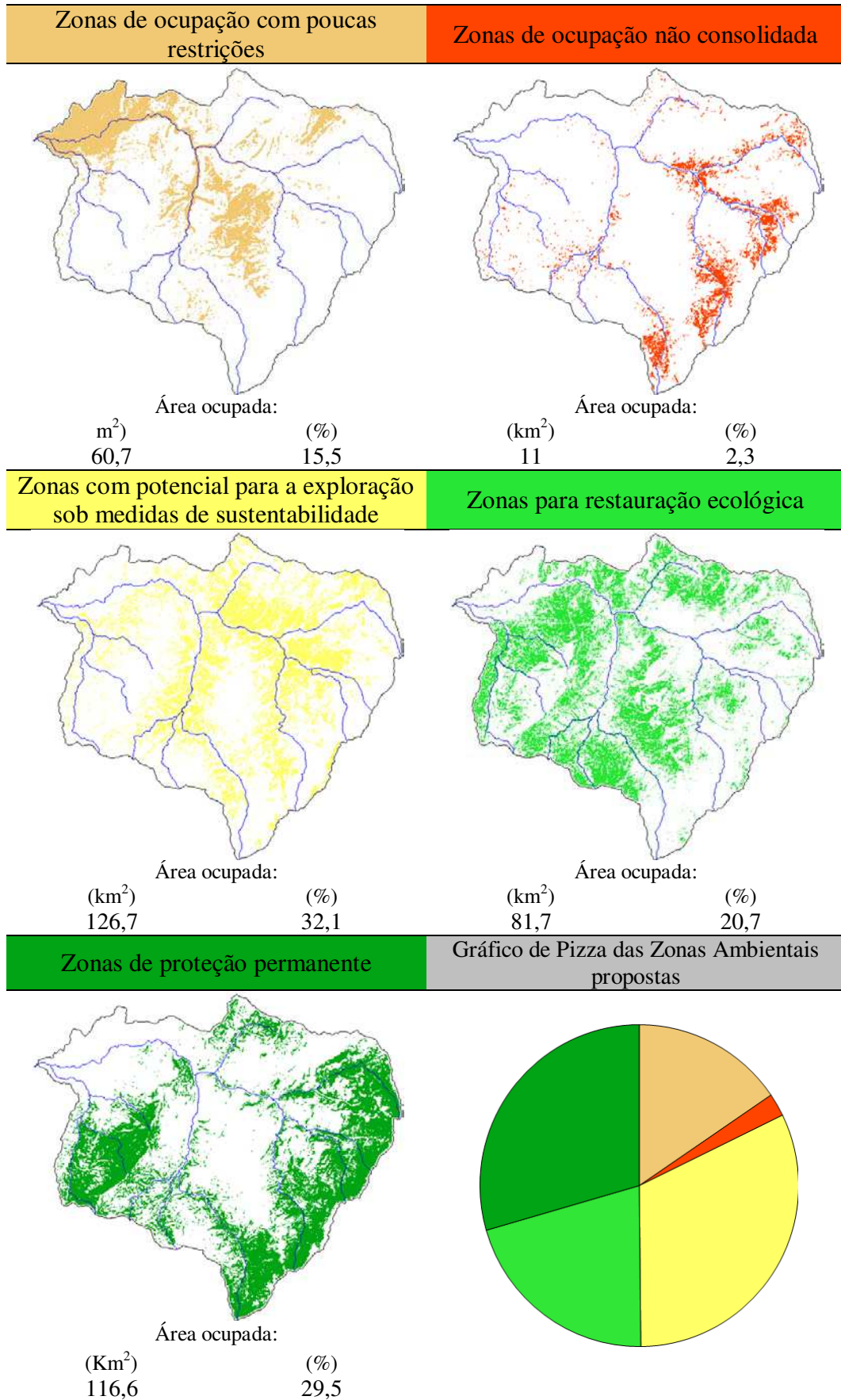
As Zonas com potencial para a exploração sob medidas de sustentabilidade são aquelas que apresentam moderada fragilidade ambiental, mas que possuem moderado ou alto potencial, sendo as zonas onde é possível o desenvolvimento de diversas atividades visando o uso equilibrado do meio físico. Estas ocupam um 32,1% da área da bacia estudada. Distribui-se de forma irregular ao longo da bacia, aqui a fragilidade e a potencialidade são moderadas, então sob as medidas de sustentabilidade e adequação dos recursos potenciais é possível o desenvolvimento agrícola e pecuário, adaptado às singularidades da bacia. Por exemplo, na zona baixa da microbacia de Agua Clara existem cultivos de frutos arbóreos como laranja e tangerina, as zonas na microbacia do Mocoy por ter características xerófilas é comum a cria caprinos.

As Zonas para restauração ecológica são aquelas que possuem baixa potencialidade, mas tem moderada fragilidade, então são zonas propicias para procurar melhoras tanto de detenção quanto eliminação de agravos ambientais. Esta área ocupa o 20,7% da bacia estudada e são zonas que poderiam ser conservadas mediante a implementação de projetos ecológicos como ecoturismo e reflorestação com espécies nativas, procurando assim, o desenvolvimento de atividades que possibilitam o uso econômico ou recreativo visando sempre a conservação ambiental.

As zonas que são recomendadas como zonas de proteção permanente são as que têm alta fragilidade ambiental, são zonas próximas as nascente dos rios, com as maiores declividades, solos erodíveis e com os mais altos níveis de precipitações, situadas majoritariamente nas maiores atitudes da bacia estudada. A área ocupada é de 29,5% da área total da bacia do rio Castán. É necessário a implementação de planos para a proteção nestas áreas em virtude de que sua conservação poderia ajudar na produção de água em quantidade e qualidade. Uma estratégia que poderia contribuir positivamente é a inclusão de hortas escolares onde se plantes árvores nativos e se fomentem valores ecológicos aos habitantes.

A tabela 12 apresenta a quantificação das áreas ocupadas pelas diferentes classes e uma visualização isolada das mesmas.

Tabela 12. Quantificação das zonas ambientais para a bacia do rio Castán.



Fonte: Materano, L. S. (2019).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

São apresentadas aqui as ideias finais após a aplicação da metodologia proposta e da apresentação dos resultados, com algumas sugestões e recomendações para a bacia.

O zoneamento ambiental constitui uma ferramenta de grande valor na gestão e planejamento territorial, a finalidade dele é aperfeiçoar o uso dos espaços, e melhorar as políticas públicas; além disso, harmoniza o concenrente com a conservação e a exploração dos recursos naturais visando à preservação do ambiente e o desenvolvimento sustentável.

A caracterização da área de estudo por intermediário de mapas temáticos possibilita um entendimento da configuração geográfica da bacia, além disso, constituem o material primário para a elaboração dos diagnósticos prévios ao zoneamento ambiental. O fato de determinar níveis de fragilidade ambiental e de potencialidade do território procura conciliar o desenvolvimento econômico, respeitar os usos e ocupações estabelecidos pelos povoadores, ao mesmo tempo que mostra os espaços onde as fragilidades ambientais limitam ou exigem uma mudança ou adequação. O embasamento do zoneamento ambiental nestes diagnósticos é primordial.

As técnicas de análise multicritério utilizadas sob entrono de SIG, demonstraram eficácia na realização dos nomeados diagnósticos e finalmente na obtenção do zoneamento ambiental. Ressaltando-se que devido à heterogeneidade do relevo da bacia hidrográfica do rio Castán, fazer um zoneamento ambiental auxiliado só por unidades de paisagens poderia levar consigo subjetividade, seguindo o AHP, esta subjetividade é notoriamente reduzida ao ter um RC dentro das medidas estatísticas de validação.

Devido à adaptabilidade da metodologia se possibilita a adaptação de novos fatores de acordo com a disponibilidade de recursos cartográficos e das condições da área de estudo, assim o número de critérios (camadas) a ser considerados em qualquer um dos diagnósticos, poderia aumentar fazendo a modelagem final mais robusta e representativa da realidade presente no espaço geográfico estudado.

A dissertação tenta também promover e colaborar com a discussão de metodologias a serem empregadas na elaboração de zoneamentos ambientais, levando em consideração os avanços na aquisição e processamento da informação geográfica. A aplicação de métodos como o usado nesta pesquisa possibilitam estimar as vantagens e desvantagens da cartografia automatizada na geração deste tipo de produtos cartográficos, sendo isso de especial interesse no desenvolvimento de trabalhos similares no futuro.

O nome das zonas poderia variar o importante é que sejam suficientemente elusivos com as atividades a serem desenvolvidas e as potencialidades ou fragilidades imperantes nas mesmas; vele lembrar que a homogeneidade interna neste tipo de metodologias é relativa, existindo distintos níveis de heterogeneidade em cada zona.

O zoneamento ambiental não é uma prática comum como ferramenta de gestão e planejamento de bacias no estado Trujillo, a utilização deste estudo pode contribuir para a realização de outros zoneamentos, seja mediante a complementação e adaptação do mesmo, ou como ponto de partida para a criação de programas voltados à recuperação e adequação de áreas segundo os resultados apresentados nesta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ALPHONCE, C.B. Application of the analytic hierarchy process in agriculture in developing countries. *Agricultural Systems*, v.53, n.1 1997. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(96\)00035-2](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(96)00035-2)
- BACANI, V. M.; LUCHIARI, A. Geoprocessamento aplicado ao zoneamento ambiental da bacia do alto rio Coxim-MS. *GEOUSP – Espaço e Tempo*: 2014. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/81098>. Acesso em: 29 ene. 2017.
- BECKER, B. e EGLER, C. Detalhamento da metodologia para o ecológico-econômico da Amazonia Legal. Brasília: SAE/MMA/LAGET. 1997, 40 p.
- BREIJO, G. F. CHAVEZ, G. D.C. GARCÍA, M.M. MARÍN, G. R.J. VENTO, V.A.D. e HERNÁNDEZ, O. L. Diagnóstico de la actividad agropecuaria en cuenca hidrográfica Guamá. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, v. 6, n.1, p 91-102, Ene/abr. 2018.
- BRIOZO R.A. e MUSETTI, M.A. Método multicritério de tomada de decisão: aplicação ao caso da localização espacial de uma Unidade de Pronto Atendimento – UPA 24 h Gest. Prod., São Carlos, v. 22, n. 4, p. 805-819, 2015.
- BUITRAGO, E. ARANGUREN, A. e MARQUINA J. Determinación de cambios en la cobertura vegetal del cerro El Morro, parroquia Mucurubá, Mérida-Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, v.26, n.2, p 85-106, abr. 2012. Disponível em: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/41962/1/articulo4.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2017.
- BURROUGH, P.A. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. 1987. Clarendon Press, Oxford.
- CALERO, S.S. Mecanismos de evaluación, seguimiento y gestión de instrumentos de ordenación del territorio. 2017. 323f. Dissertação (Doutorado Análisis internacional comparado) - Universidad de Sevilla, España, 2017.
- CÂMARA, G. et al. Técnicas de Inferência Geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, M. V. M. (Coords.). *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos: INPE, 2001. cap. 9, p. 241-288.
- CÂMARA, G. Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. *Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura*. Planaltina: EMBRAPA, 1993. cap.4, p.15-37.

CARRASCO, S. Vulnerabilidad ambiental al sur del Orinoco. *Revista Guayana sustentable*, v.13, 2013.

CASTELLANOS, A., E. A.; VAN WESTEN C. J.. Development of a system for landslide risk assessment for Cuba. En: Hungr, O.; Fell, R.; Couture, R. and E. Eberhardt (eds.). *Proceedings of the international conference on landslide risk management*. 1-10. (31 May-3 June, 2005, Vancouver). London. Balkema.

CHUVIECO, E. *Fundamentos de teledetección espacial. La observación de La Tierra desde el espacio*. 2008. Barcelona, Ariel.

CORPORACIÓN DE LOS ANDES. *Dossier Municipal 2006 – Pampanito*. Trujillo: corporación de Los Andes. 2006 .Disponível em: [http://www.corpoandes.gov.ve/files/imagenes/file/descargas/gerencia\\_informacion/dossiers/dosier%20corregido%20definitivo%202006/Dossier%20Trujillo%20PDF/dossier%20municipal%202006/Dossier%20Pampanito%202006.pdf](http://www.corpoandes.gov.ve/files/imagenes/file/descargas/gerencia_informacion/dossiers/dosier%20corregido%20definitivo%202006/Dossier%20Trujillo%20PDF/dossier%20municipal%202006/Dossier%20Pampanito%202006.pdf) . Acesso em: 21 jul. 2015.

DA SILVA, V. J. S. CARVALHO, P. J. R. DOS SANTOS, F. R. FELGUEIRAS, C. A. Zoneamentos ambientais: quando uma unidade territorial pode ser considerada homogênea? *Revista Brasileira de Cartografia*, v.59, n.01, p 82-92. Abril, 2007.

DE CARVALHO, R. G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia*, n.36, Volume Especial, p. 26-43, 2014.

DE PAULA, S. E. M. E DE SOUZA, N. M. J. Lógica Fuzzy como técnica de apoio ao Zoneamento Ambiental. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, Anais p. 2979-2984.

DEL AGUILA, D.S. Zonificación ambiental para el ordenamiento territorial de la subcuenca bimunicipal del río Aguas Calientes. 2008. 177f. Dissertação (maestría en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas)- Programa De Educación para el Desarrollo y la Conservación Escuela de Posgrado. Sandro Domínguez Turrialba, Costa Rica, 2008

DELUIZ, N. NOVICKI, V. Trabalho, meio ambiente e desenvolvimento Sustentável: implicações para uma proposta de formação crítica. *Boletim Técnico do Senac: a revista de educação profissional*, v.30, n.2, p 1-8, 2017. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/cea/2016/08/02/trabalho-meio-ambiente-e-desenvolvimento-sustentavel/>. Acesso em: 29 ene. 2017.

DOS SANTOS, R.R.M. e RANIERI, L.V.E. Criteria for analyzing environmental zoning as an instrument in land use and spatial planning. *Introduction. Ambiente & Sociedade*. v. XVI, n. 4. p.43-62, out.-dez. 2013.

EASTMAN, J. R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K. and J. TOLEDANO . Raster procedures for multi-criteria/multiobjective decisions. *Photogrammetry and Remote Sensing*. v.61, n.5. p.539- 547, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Brasília-DF, 1999, 412 p.

FARIA D. G. M. e AUGUSTO FILHO, O. Aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas. *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*, v. 34, n. 1, p. 23-44, 2013. <https://doi.org/10.5935/0100-929X.20130002>

FERREIRA, C.C. e PIROLI, E. L. Proposta de zoneamento ambiental das paisagens para o alto curso da bacia hidrográfica do rio Sucuriú, Mato Grosso do Sul-Brasil. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 36, n. 2, p 341-357, 2016.

FERREIRA, C.C. Proposta de zoneamento ambiental das paisagens para o alto curso da bacia hidrográfica do rio Sucuriú, Mato Grosso do Sul-Brasil. 2016. 211f. Dissertação (doutorado em geografia)- Universidad Estadual Paulista "Julio De Mesquita Filho".Presidente Prudente – SP. 2016.

FLORENCIO, B.B.A. Análise Geoambiental da bacia hidrografica do Riberao Bora: Sacramento/Conquista. 2010. 198 f. Dissertação (mestrado em geografia)- Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Brasil 2010.

FUNDAÇÃO APOLÔNIO SALLES DE DESENVOLVIMENTO EDUCACIONAL. Zoneamento ambiental da area de protecao ambiental Apa Santa Cruz Itapissuma Itamaracá e Goiana/PE. 2010. Disponível em: [http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS\\_ANEXO/diagnosticosantacruz;2243;20120906.pdf](http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/diagnosticosantacruz;2243;20120906.pdf) Acesso em: 21 feb. 2017.

GARCIA, R. C. Una mirada al Ordenamiento Territorial en Venezuela en el Marco del Ecosocialismo. *Revista Ciencias Espaciales*, v.9, n.1. p 185-199. abr- jun. 2016. <https://doi.org/10.5377/ce.v9i1.3132>

GASPARI, F. J. RODRÍGUEZ, V.I. DELGADO, M.; SENISTERRA, G. E.; DENEGRI G. A. Vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas serranas mediante SIG. *Multequina*, v.20, n.1. p 3-13, 2011.

GÓMEZ, M., e BARREDO, J. Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Madrid: Editorial Ra-Ma. 2005

HORN, B. K. P. Hill shading and the reflectance map. *Proceedings of the IEEE*, n. 69, v. 01, p. 14-47, 1981. <https://doi.org/10.1109/PROC.1981.11918>



INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. XIV Censo Nacional de Población y Vivienda. Venezuela: Gerencia General de Estadísticas Demográficas Gerencia de Censo de Población y Vivienda. 2014. Disponible em: <http://www.ine.gov.ve/documentos/Demografia/CensodePoblacionyVivienda/pdf/nacional.pdf>. Acceso em: 31 jul. 2017.

JANSEN, L. The challenge of sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, v.11, n.3. p 231-245. 2003. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00073-2](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00073-2)

JARAMILLO, P. SMITH, R. VÉLEZ, I. Metodología de análisis multiobjetivo supervisado para a priorización de zonas de intervención y proyectos en cuenca hidrográficas. In : XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica Saõ Pedro, Estado de Saõ Pablo, Brasil, Octubre 2004.

LANDAZÁBAL, G.A.B. Informe nacional sobre la gestión del agua en Venezuela. CEPAL. 2000. Disponible em: <http://www.cepal.org/dnri/proyectos/samtac/inve00100.pdf>. Acceso em: 21 Jul. 2017.

LOPES, E. R. N.; LOURENÇO, R. W. REUSS-STRENZEL, G. M. Análise multicriterial aplicada a elaboração de zoneamento de unidade de conservação na zona costeira da Bahia, Brasil. *Raega*, v. 37, p. 65-90, 2016.

MALCZEWSKI , J. 1996. A GIS-based approach to multiple criteria group decision making. *International Journal of Geographical Information Systems*. 10(8): 955-971. <https://doi.org/10.1080/02693799608902119>

MARTÍN, D.Y.; FRONTADO, M.; DA SILVA, A.; LIZARAZ, I.; LAMEDA, V.; VALERA, C.; GÓMEZ., E.; MONROY, Z.; MARTINEZ, J.; APOSTÓLICO e SUÁREZ, G. Situación Ambiental de Venezuela 2012. VITALIS: 2013. Disponible em: [http://www.ucv.ve/fileadmin/user\\_upload/cenamamb/Situacion-Ambiental-de-Venezuela-2012.pdf](http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/cenamamb/Situacion-Ambiental-de-Venezuela-2012.pdf). Acceso em: 29 jul. 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Zoneamento ecológico econômico e proteção da biodiversidade. Seminário Zoneamento Ecológico Econômico e Biodiversidade. Caderno de Resumos. Brasília, DF. 2006. Disponible em: <<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura =28&idConteudo=8959&idMenu=9716>> Acceso em: 21 feb. 2017.

MONCADA J.V.L. OJEDA E.C. Aproximación al mapa de susceptibilidad a inundación en la cuenca del río Boconó, Estado Trujillo, Venezuela. *Terra Nueva Etapa Universidad Central de Venezuela*.v.34, n.55, 2018.

ONTIVERO, M. MARTÍNEZ, J. GONZÁLEZ, V. ECHAVARRÍA, P. Propuesta metodológica de zonificación ambiental en la Sierra de Altomira mediante Sistemas de

Información Geográfica. GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. N.8. 2008.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). ¿Por qué invertir en ordenación de las cuencas hidrográficas?. Roma, 2009. Disponible em: < <http://www.fao.org/docrep/012/a1295s/a1295s01.pdf>> Acceso em: 21 Jul. 2017.

PÁEZ, C. J. T. Oportunidades y retos para la restauración ecológica desde el ordenamiento territorial en un país en posconflicto. 2017. 112f. Dissertação (especialização em planeación ambiental y manejo integral de los recursos naturales)- Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia 2017.

PAGOT, M. Metodologías inductivas y deductivas en técnicas de Teledetección. Editorial Universitas, Córdoba, pp. 114-129, 2003.

PINEDA, M. E.; ROBAINA, L. S.; TRENTIN, R.; PARTIDA, R. L. Clasificación de unidades geomorfológicas en la cuenca del río Neverí, Venezuela. RAOEGA, O Espaço Geográfico em Análise. Curitiba, v. 41 Temático de Geomorfologia , p. 189 -207, Ago/2017. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v41i0.52344>.

PINESE JÚNIOR, J.F. e RODRIGUES, S.C. Método de Análise Hierárquica –AHP– como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Piedade (MG). REVISTA DO DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA –USP, V.23, p. 4-26. 2012. DOI:10.7154/RDG.2012.0023.0001

QUINTERO B, QR; PÉREZ C. R. 2006. Zonificación agrícola como una herramienta básica para el ordenamiento ambiental de un territorio (en línea). Consultado 12-07-2008. <http://www.docentes.unal.edu.co/qrquinterob/>

RADEMANN, L. K. TRENTIN, R. ROBAINA, S. L. E. Zoneamento geoambiental do município de Cacequi, Rio Grande do Sul. Geosul, v. 33, n. 66, p. 85-104, jan./abr. 2018. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2018v33n66p85>

RIBEIRO, M. C. C.; ALVEZ, A. S. Aplicação do método Analytic hierarchy Process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. Sistemas & Gestão, v. 11 p. 270-281, 2016.

ROA, J. La teledetección en los estudios de conservación y uso de la tierra. In: VI Jornadas de Investigación y Posgrado en Docencia de la Geografía y las Ciencias de La Tierra, 2012, Trujillo, Anais MDGCT, p.34-52, 2012.

ROA, J. Estimación de áreas susceptibles a deslizamientos mediante datos e imágenes satelitales: cuenca del río Mocotíes, estado Mérida-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 48(2), 183-219, 2007.

ROBERTO M. R. e CARVALHO E. A. Interdisciplinaridade da Cartografia Digital na Educação. *Sociedade e Território*, v. 26, n 2, 2014.

RODRIGUES, D.S; SILVA, A.N. MENDES, J.F. Gomes. Avaliação multicritério e SIG vectorial: uma alternativa para planejamento de transportes. *Anais.Rio de Janeiro: ANPET*, 2002.

ROMEIRO, A.R. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. *Estudos Avançados*, v. 26, n. 74, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142012000100006>

ROMERO, B. J.A. Nociones de hidrografía. Mérida (Venezuela): Universidad de Los Andes, Consejo de Publicaciones; 2007.

ROSA, R. e BRITO, J.L.S. Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informações Geográficas. Uberlândia, 1996.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. *Revista do Departamento de Geografia*. V.16, p. 81-90, 2005. <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0016.0009>

ROSS. Plano de conservação da bacia do alto Paraguai e o zoneamento ecológicoeconômico para o Brasil. In: 1º SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2006 Campo Grande, *Anais PCBA*, 2006. p.667-674.

RUFFATO-FERREIRA, V. J. BESER, L. BERRÊDO-VIANA, D. FRANÇA, C. NASCIMENTO, J. FREITAS, M. Zoneamento ecológico econômico como ferramenta para a gestão territorial integrada e sustentável no Município do Rio de Janeiro. *EURE*, v.44, n.131. p239-260, 2018. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612018000100239>

SAATY, T. L. Método de análise hierárquica. São Paulo: Makron Books. 1991.

SCHIAVO, B. N. V.; HENTZ, A. M. K.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria – RS. *Rev. Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, Santa Maria, v.20, n.1, p.464-473, 2016.

SARTORI, A. A. C, DA SILVA, R. F. B. e ZIMBAC, C. R. L. Combinação linear ponderada na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais em ambiente SIG. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.36, n.6, p.1079-1090, 2012

SEGOVIA, L. e ROA. J. Evaluación de la potencialidad del cultivo de chachafruto en la microcuenca del río Monaicito, Trujillo-Venezuela, a través de SIG y EMC. AGORA - Trujillo. Venezuela. v.15 n.29, p. 109-133, enero – junio, 2012.

TOMLIN, C. Geographic information systems and cartographic modelling. 1990. Prentice Hall.

VALERA F. e CASTELLANO A. Dinámica del uso de la tierra en la cuenca del río Castán, Trujillo – Venezuela, 1996-2001. Trujillo – Venezuela: ACADEMIA. v. 9, n. 18, p. 61-72, jul. /dic. 2010.

VENEZUELA. Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. Publicada en Gaceta Oficial N° 5.908 extraordinario, de fecha 19 de febrero de 2009.

VENEZUELA. Ley de Aguas (2007). Publicada en Gaceta Oficial Extraordinaria N° 35.595 de la República Bolivariana de Venezuela. Caracas, martes 2 de enero de 2007.

VENEZUELA. Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio (2005). Publicada en Gaceta Oficial Extraordinaria N° 38.279 de la República Bolivariana de Venezuela. Caracas, martes 23 de septiembre de 2005.