

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

**MUDANÇAS IDENTIFICÁVEIS NO NÍVEL DE HEMEROBIA RESULTANTES DA DINÂMICA DO  
USO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE COMITÁN (CHIAPAS, MÉXICO). UMA  
ANÁLISE DO PERÍODO 1999-2019.**

**FLOR MAGALI AGUILAR LÓPEZ**

**SÃO CARLOS - SP**

**2020**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

**MUDANÇAS IDENTIFICÁVEIS NO NÍVEL DE HEMEROBIA RESULTANTES DA DINÂMICA DO USO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE COMITÁN (CHIAPAS, MÉXICO). UMA ANÁLISE DO PERÍODO 1999-2019.**

**FLOR MAGALI AGUILAR LÓPEZ**

**Orientador: Prof. Dr. José Eduardo dos Santos**

**Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ciências, Área de Concentração em Ecologia e Recursos Naturais.**

**São Carlos – SP**

**2020**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais

---

**Folha de Aprovação**

---

Defesa de Tese de Doutorado da candidata Flor Magali Aguilar López, realizada em 24/08/2020.

**Comissão Julgadora:**

Prof. Dr. José Eduardo dos Santos (UFSCar)

Prof. Dr. Yuri Tavares Rocha (USP)

Profa. Dra. Dayana Almeida (UFSCar)

Profa. Dra. Eliziane Carla Scariot (IFSP - Matão)

Prof. Dr. Waldir José Gaspar (FEBASP)

O presente trabalho foi realizado com apoio do Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologia (CONACyT) – México.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais.

*Dedico a minha amada família e  
a minha maravilhosa terra,  
" monte da chia" Chiapas, México.*

*A memória do Prof. José Eduardo dos Santos  
que com sua grande experiência como ser humano e  
pesquisador deixou, além das fronteiras,  
este último aporte às paisagens bioculturais.*

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Eduardo Dos Santos pelo apoio incondicional, tempo e dedicação, os quais foram significativos para minha formação profissional e pessoal. Sou grata pela sua paciência e disponibilidade em cada uma de nossas conversas. Seus ensinamentos marcaram gerações, evidenciando sua nobreza como indivíduo na sua escrita, no seu olhar, na sua fala e no seu agir dia a dia. Minhas palavras sempre serão pequenas ante minha admiração, carinho e a gratidão pela sua sabedoria que me outorgou nestes últimos e inesquecíveis quatro anos;

Ao Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologia (CONACYT), México, Cidade de México, Fellow CVU N° 624802, pela bolsa concedida (48 meses) para obtenção do grau de Doutor junto ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais (PPG-ERN) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP, Brasil;

À Universidade Federal de São Carlos por me brindar a valiosa oportunidade de estudar nesta máxima casa de estudos;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais (PPGERN) por me permitir formar parte como doutoranda, deixaram comigo aprendizados de vida;

A Profa. Dra. Dayana Almeida pela colaboração e apoio, como também, na reflexão contínua da múltipla aplicabilidade do Index Distance to Nature, e sobretudo, pelo seu companherismo, sempre fraternal;

Ao Prof.Dr. Roberto Bonifaz e a Arq. María del Rosario Bonifaz Alfonso por terem o compromisso com a melhoria das condições ambientais da bacia hidrográfica Rio Grande Comitán, Chiapas, México, como também o suporte e assessoria propocionados durante minha estadia nas atividades de campo;

A Profa. Dra. Eliziane Carla Scariot, Prof. Dr. Yuri Tavares Rocha e Prof. Dr. Waldir José Gaspar pela leitura, avaliação e observações oportunas deste estudo;

Ao Prof. Dr. Alberto Carvalho Peret pela colaboração e apoio na análise estatística;

A Profa. Dra. Ângela Terumi Fushita pela colaboração na fase inicial deste estudo;

A Lic. Beatriz Elena Paredes Rangel por ser a pioneira em um projeto, que sem dúvida, tem grande significado científico e mérito para a região sudeste de México;

Ao IMPLAN (Instituto Municipal de Planeación de Comitán de Domínguez) pelo suporte fornecido na etapa inicial deste estudo;

À Engenheira Odetta Cervantes Bieletto por ter me apresentado aos ejidatarios de Tzisco e pelo comprometimento com o Parque Nacional Lagunas de Montebello;

À Mariana Dorici pela sua ajuda e aportação na metodologia deste trabalho. Obrigada por compartilhar seu conhecimento.

Aos companheiros de convivência Mayra, Ivan, Valéria, Lia, junto ao Laboratório de Análise e Planejamento Ambiental (LAPA), DHb / CCBS/UFSCar; foi muito bom conhecê-los;

Ao Técnico Osmar de Almeida agradeço por todo o auxílio e companhia;

Aos meus amigos Fábio Leandro, Ericka Zanardo e Rafa pelas reuniões que tivemos e as boas conversas; meus bons amigos.

Às minhas amigas Fabíola e Lolita pelos sorrisos e companherismo no decorrer da vida.

Às famílias Moreira Pinto e Moreira Pinto Néó pela hospitalidade nos momentos mais diversos, pelos sorrisos dos domingos. Em especial a Henrique Moreira pelo aprendizado ao seu lado;

À minha família pelo apoio incondicional. Embora geograficamente distantes sempre estiveram presentes.

Aos meus irmãos Jairo e Servando pelo acompanhamento e reconforto.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Representação da dependência das atividades humanas e o bem-estar humano com as funções ambientais. Que por sua vez, se limita a satisfazer as demandas humanas (aumento de população e aumento de produção agrícola) constituindo os principais fatores de pressão na complexidade estrutural e causando mudanças ambientais ao longo do tempo. \_\_\_\_\_ 3
- Figura 2.** (A) Localização da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Estado de Chiapas, México). (B) Localização da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán no Estado de Chiapas (México), e (C) Limites dos territórios municipais de Comitán de Domínguez, La Independencia, La Trinitária e Las Margaritas, e do Parque Nacional Lagunas de Montebello (Chiapas, México). (\*) Município de Nentón, Guatemala. Área territorial não considerada na extensão total da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México) neste estudo \_\_\_\_\_ 7
- Figura 3.** Diagrama dos procedimentos relacionados aos quatro eixos metodológicos desenvolvidos nesta investigação. \_\_\_\_\_ 8
- Figura 4.** Hidrografia da bacia hidrográfica Rio Grande Comitán (Chiapas, México). \_\_\_\_\_ 18
- Figura 5.** Tipos de fitofisionomias da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México). \_\_\_\_\_ 19
- Figura 6.** Tipos de grupos de solos da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México). \_\_\_\_\_ 20
- Figura 7.** Unidades geológicas da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México). \_\_\_\_\_ 22
- Figura 8.** Carta hipsométrica da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México). \_\_\_\_\_ 23
- Figura 9.** Linha do tempo contemplando aspectos históricos relacionados à questão da posse da terra e da legislação ambiental no México, como fatores condicionantes da organização espacial da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México). \_\_\_\_\_ 26
- Figura 10.** Tipos de zonas definidas no estabelecimento dos Núcleos Agrários e distribuição espacial das mesmas na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, (Chiapas, México). \_\_\_\_\_ 27
- Figura 11.** Representação espacial dos limites territoriais dos municípios inseridos nos limites da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México). \_\_\_\_\_ 35
- Figura 12.** Representação das interações entre as 04 clases de uso segundo sua dependência de gestão, Capacidade de autoregulação. \_\_\_\_\_ 37
- Figura 13.** Representação espacial dos tipos de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1999, 2009, e 2019). \_\_\_\_\_ 45
- Figura 14.** Fotografias aéreas das Lagunas La Encantada (A) e Balantetic (B) evidenciando alteração da coloração da água resultante da contaminação por atividades antrópicas do entorno. Fonte: María del Rosario Bonifaz Alfonso (2016). \_\_\_\_\_ 46
- Figura 15.** Fotos da Zona Arqueológica Chinkultic. A) Pirâmide de cerimônias religiosas, e B) Zona Arqueológica e na parte superior da mesma o lago Balantetic. \_\_\_\_\_ 49
- Figura 16.** Mapa perceptual bidimensional, resultado do PCA, apresentando os percentuais de variabilidade para os componentes F1 e F2, como adequado para avaliar as relações entre as classes de usos da terra (Natural, Antrópico Agrícola e Antrópico Não-Agrícola) e anos (1999, 2009 e 2019). \_\_\_\_\_ 51
- Figura 17.** Fotos correspondentes á mata ripária da bacia hidrográfica Rio Grande Comitán, ubicada na região central da bacia no municipio de La Independencia. \_\_\_\_\_ 52

**Figura 18.** Representação espacial do processo de antropização com base na dinâmica dos níveis de hemerobia Próximo ao Natural, Alterado, Cultural, Artificial / Artificial com elementos naturais, na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México). ao longo do período de 20 anos (1999, 2009, 2019).

55

**Figura 19.** Mapa perceptual bidimensional, resultado do PCA, apresentou os percentuais de variabilidade para os componentes F1 e F2, como adequado para avaliar as relações entre os níveis de hemerobia (Próximo ao Natural, Cultural, Alterado, Artificial, e Artificial com elementos naturais) e anos (1999, 2009 e 2019).

56

**Figura 20.** Representação espacial da dinâmica dos níveis de hemerobia Próximo ao Natural, Alterado, Cultural, Artificial / Artificial com elementos naturais, para os territórios municipais de Comitán de Domínguez, La Trinitária, La Independencia, e Las Margaritas, inseridos na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1999 - 2019).

58

**Figura 21.** Número total de habitantes dos assentamentos rurais (ejidos) localizados nos municípios de La Independencia, La Trinitária, Comitán de Domínguez e Las Margaritas, inseridos na bacia hidrográfica Rio Grande Comitán (Chiapas, México), em relação ao levantamento censitário de 1990, 2000 e 2010. (CONAPO, 2010).

61

**Figura 22.** Distribuição espacial dos assentamentos rurais (Ejidos) localizados nos municípios de Comitán de Domínguez, La Independencia, La Trinitária e Las Margaritas, inseridos na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, (Chiapas, México). Em destaque, a área ocupada pelo Parque Nacional Lagunas de Montebello e o Ejido Tziscão, inserido no interior do mesmo.

62

**Figura 23.** Valores totais das áreas (ha) dos níveis de hemerobia (Próximo ao Natural, Alterado, Cultural, e Artificial / Artificial com elementos naturais), nos anos de 1999, 2009 e 2019, com os percentuais de alteração de cada um dos níveis, entre os anos de 1999 – 2009 – 2019, no Parque Nacional Lagunas de Montebello (bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, Chiapas, México).

65

**Figura 24.** Distribuição espacial das atividades antrópicas com base nos níveis de hemerobia, nos limites do Parque Nacional Lagunas de Montebello (bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1999, 2009, 2019). Em destaque a área em preto relacionada ao perímetro urbano do Ejido Tziscão.

66

**Figura 25.** Fotos ilustrativas correspondentes ao Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM) (Chiapas, México). A) Imagem aérea da área urbana do Ejido Tziscão localizado no cômputo do PNLM. Fonte: María del Rosario Bonifaz Alfonso, 2009; B) Atividades de turistas nos postos comerciais existentes dentro do PNLM.

67

**Figura 26.** Representação espacial da transição (valores % de área) entre os níveis de hemerobia (\*) da bacia hidrográfica Rio Grande Comitán (Chiapas, México), nos períodos de 1999 - 2009 / 2009 - 2019 / 1999 – 2019.

70

**Figura 27.** Representação espacial da dinâmica das três categorias (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 1) dos valores do Índice de Distância do Natural (D<sub>2</sub>N) para a bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1999 – 2019).

72

**Figura 28.** Mapa perceptual bidimensional, resultado do PCA, apresentou os percentuais de variabilidade para os componentes F1 e F2, como adequado para avaliar as relações entre os valores para as três categorias de D<sub>2</sub>N (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 1) e anos (1999, 2009 e 2019), na bacia hidrográfica do Rio Grande-Comitán (Chiapas, México).

73

**Figura 29.** Representação espacial da transição (valores % de área) para as três categorias de D<sub>2</sub>N (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 1) da bacia hidrográfica Rio Grande Comitán (Chiapas, México), nos períodos de 1999 - 2009 / 2009 - 2019 / 1999 – 2019. Em destaque os fluxos de transição entre as três categorias de D<sub>2</sub>N e dos respectivos valores de áreas, nos períodos de 1999 - 2009/ 2009 - 2019 / 1999 – 2019

75

**Figura 30.** Representação espacial da dinâmica das cinco categorias ( $0 - 0,06 / 0,06 - 0,35 / 0,35 - 0,8 / 0,8 - 0,9 / 0,9 - 1$ ) dos valores do Índice de Distância ao Natural ( $D_2N$ ) para a bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1919 – 2019). \_\_\_\_\_ 77

**Figura 31.** Mapa perceptual bidimensional, resultado do PCA, apresentou os percentuais de variabilidade para os componentes F1 e F2, como adequado para avaliar as relações entre os valores para cinco categorias de  $D_2N$  ( $0 - 0,06 / 0,06 - 0,35 / 0,35 - 0,8 / 0,8 - 0,9 / 0,9 - 1$ ) e anos (1999, 2009 e 2019), na bacia hidrográfica do Rio Grande-Comitán (Chiapas, México). \_\_\_\_\_ 78

**Figura 32.** Representação espacial da transição (valores % de área) para as três categorias de  $D_2N$  ( $0 - 0,06 / 0,06 - 0,35 / 0,35 - 0,8 / 0,8 - 0,9 / 0,9 - 1$ ) da bacia hidrográfica Rio Grande Comitán (Chiapas, México), nos períodos de 1999 - 2009 / 2009 - 2019 / 1999 – 2019. Em destaque os fluxos de transição entre as três categorias de  $D_2N$  e dos respectivos valores de áreas, nos períodos de 1999 - 2009/ 2009 - 2019 /1999 – 2019. \_\_\_\_\_ 80

**Figura 33.** Representação espacial da dinâmica para as três ( $0 - 0,06 / 0,06 - 0,35 / 0,35 - 1$ ) e cinco categorias ( $0 - 0,06 / 0,06 - 0,35 / 0,35 - 0,8 / 0,8 - 0,9 / 0,9 - 1$ ) dos valores do Índice de Distância ao Natural ( $D_2N$ ) para os municípios de Comitán de Domínguez, La Independencia e La Trinitária, inseridos na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1919 – 2019). \_\_\_\_ 83

**Figura 34.** Dinâmica dos valores de áreas (%) das cinco categorias ( $0 - 0,06 / 0,06 - 0,35 / 0,35 - 0,8 / 0,8 - 0,9 / 0,9 - 1$ ) do Índice de Distância ao Natural ( $D_2N$ ), para os municípios de Comitán de Domínguez, La Independencia e La Trinitária, inseridos na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1919 – 2019). \_\_\_\_\_ 84

**Figura 35.** Representação espacial do número total (138) assentamentos, em 2010, localizados nos territórios correspondentes aos municípios de Comitán de Domínguez, La Independencia, La Trinitária e de Las Margaritas, inseridos na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), com base na categorização dos mesmos em 05 (cinco) graus de marginalidade (muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo). \_\_\_\_\_ 87

**Figura 36.** Representação espacial e valores de área (%) dos tipos de paisagem (Próximo ao Natural, Alterada, Intensivamente Cultivada, Urbanizada com poucos elementos naturais e Urbanizada), com base nas cinco categorias ( $0 - 0,25 / 0,25 - 0,35 / 0,35 - 1$ ) ( $0 - 0,06 / 0,06 - 0,35 / 0,35 - 0,8 - 0,9 / 0,9 - 1$ ), da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1919 – 2019). \_\_\_\_ 90

**Figura 37.** Representação espacial valores de área (%) dos tipos de paisagem do indicador Distância ao Habitat Natural ( $D_n$ ). Com base nas cinco categorias ( $0 - 0,06 / 0,06 - 0,35 / 0,35 - 1$ ) ( $0 - 0,06 / 0,06 - 0,35 / 0,35 - 0,8 - 0,9 / 0,9 - 1$ ), da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1919 – 2019). \_\_\_\_\_ 93

**Figura 38.** Representação espacial dos tipos de categorização ( $0 - 0,06 / 0,06 - 0,35 / 0,35 - 1$ ) e ( $0 - 0,06 / 0,06 - 0,35 / 0,35 - 0,8 - 0,9 / 0,9 - 1$ ) dos valores do Índice Distância ao Natural ( $D_2N$ ), para uma área-core da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1919 – 2019). \_\_\_\_\_ 94

**Figura 39.** Seleção de áreas naturais suscetíveis à influencia das atividades antrópicas em 2019, para proposição de estratégias (1- azul, 2- vermelho) políticas do Uso da Terra e da Proteção à biodiversidade no Planejamento e Monitoramento Ambiental. No lado direito, o padrão espacial das frações territoriais em 2019 dos municípios inseridos na bacia hidrográfica Rio Grande Comitán, com base nas cinco categorias de valores  $D_2N$ . \_\_\_\_\_ 97

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Características técnicas das imagens Landsat-7 e LandSat8 utilizadas neste estudo. _____	9
<b>Tabela 2.</b> Valores das áreas totais da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán e dos territórios municipais do estado de Chiapas (México). _____	35
<b>Tabela 3.</b> Descrição das classes de usos da terra e dos tipos de cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México). _____	36
<b>Tabela 4.</b> Valores das áreas (ha / %) dos tipos de usos e cobertura da terra da bacia hidrográfica Rio Grande Comitán. (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1999, 2009, e 2019). _____	44
<b>Tabela 5.</b> Valores das áreas (ha e %) dos níveis de hemerobia da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1999, 2009, 2019). _____	54
<b>Tabela 6.</b> Valores das áreas (ha) ocupadas pelos os níveis de hemerobia Próximo ao Natural, Alterado, Cultural, Artificial / Artificial com elementos naturais, ao longo do período de 20 anos (1999 - 2019), para os limites territoriais dos municípios La Independencia, La Trinitária, Comitán de Domínguez e Las Margaritas, inseridos na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México). _____	59
<b>Tabela 7.</b> Número de assentamentos rurais (*Ejidos) e densidade populacional de cada assentamento rural para os municípios de La Independencia, La Trinitária, Comitán de Domínguez e Las Margaritas, inseridos na bacia hidrográfica Rio Grande Comitán (Chiapas, México), em relação aos levantamentos censitários de 1990 e 2000. _____	63

## LISTA DE QUADROS

- Quadro 1.** *Categorização e descrição dos graus de Naturalidade relacionada a influência antropogênica, resultante dos usos da terra, em relação à biodiversidade (RÜDISSEER et al., 2012).* \_\_\_\_\_ 12
- Quadro 2.** *Sistemas de classificação relacionados a O3 (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 1) e O5 (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 0,8 / 0,8 – 0,9 / 0,9 – 1) categorias de valores de D2N, com base nos valores normalizados de dos Indicadores de Naturalidade (Nd) e de Distância do Habitat Natural (Dn)* \_\_\_\_\_ 14
- Quadro 3.** *Banco de dados representando os registros fotográficos (verdade terrestre) dos tipos de classes de usos da terra, dos tipos de cobertura da terra e local de ocorrência, e imagem LandSat do registro fotográfico para a bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán.* \_\_\_\_\_ 38
- Quadro 4.** *Níveis de hemerobia identificados para a bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán com base nos graus de naturalidade e dos tipos de usos da terra que influenciam a biodiversidade, comparativamente aos descritos em Rüdissler et al., (2012) e em Almeida et al., (2018).* \_\_\_\_\_ 53
- Quadro 5.** *Distribuição do número de total habitantes em relação ao número total de assentamentos nas frações das áreas dos municípios inseridos na bacia hidrográfica do Rio Grande-Comitán, em 2000 e 2010. Em destaque o número de assentamentos, em 2010, localizados nas frações das áreas dos municípios inseridos na bacia hidrográfica (CONAPO, 2010).* \_\_\_\_\_ 85

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Arq.	Arquitecto
AICA	Área Importante para la Conservación de las Aves
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
$D_n$	<i>Distância ao habitat Natural</i>
$D_2N$	<i>Distância do Natural</i>
DOF	Diario Oficial de la Federación
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IUCN	International Union for Conservation of Nature
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
$N_d$	<i>Indicador de Naturalidade</i>
NOM	Norma Oficial Mexicana
PNLM	Parque Nacional Lagunas de Montebello
RAN	Registro Agrario Nacional
SAGARPA	Secretaría de la Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SINAP	Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>ii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE QUADROS</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMO</b>	<b>x</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xiv</b>
<b>1. Introdução</b>	<b>2</b>
<b>2. Objetivo</b>	<b>6</b>
<b>3. Materiais e Métodos</b>	<b>7</b>
<b>3.1. Área de estudo</b>	<b>7</b>
<b>3.2. Procedimentos Metodológicos</b>	<b>8</b>
3.2.1. Caracterização e análise ambiental da área de estudo	9
3.2.2. Dinâmica espacial e temporal do uso e cobertura da terra	9
3.2.3. Identificação e avaliação dos níveis de hemerobia	11
3.2.4. Análise da transição dos níveis de hemerobia	13
3.2.5. Índice Distância do Natural ( $D_2N$ )	13
<b>4. Resultados e Discussão</b>	<b>17</b>
<b>4.1. Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán</b>	<b>17</b>
4.1.1. Hidrografia	17
4.1.2. Vegetação	18
4.1.3. Edafologia	20
4.1.4. Geologia	21
4.1.5. Hipsometria	22
<b>4.2. Aspectos históricos da dinâmica dos usos da terra</b>	<b>23</b>

4.2.1. Posse e uso da terra no México	23
4.2.2. Contextualização histórica do uso e ocupação da terra da área de estudo	29
4.2.3. Áreas Naturais Protegidas	30
<b>4.3. Dinâmica qualitativa e quantitativa dos usos e cobertura da terra</b>	<b>35</b>
<b>4.4. Identificação e avaliação dos níveis de hemerobia da bacia Rio Grande Comitán</b>	<b>51</b>
<b>4.5. Análise da transição dos valores de áreas entre os níveis de hemerobia</b>	<b>68</b>
<b>4.6. Análise da transição dos valores de áreas para as três categorias de <math>D_2N</math></b>	<b>71</b>
<b>4.7. Análise da transição dos valores de áreas para as cinco categorias de <math>D_2N</math></b>	<b>76</b>
<b>4.7. Valores de <math>D_2N</math> x Naturalidade (<math>N_d</math>)</b>	<b>88</b>
<b>4.8. Valores de <math>D_2N</math> x Distância ao Habitat Natural (<math>D_n</math>)</b>	<b>91</b>
<b>5. Conclusões</b>	<b>98</b>
<b>6. Referências bibliográficas</b>	<b>100</b>

## RESUMO

### MUDANÇAS IDENTIFICÁVEIS NO NÍVEL DE HEMEROBIA RESULTANTE DA DINÂMICA DO USO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE COMITÁN (CHIAPAS, MÉXICO). UMA ANÁLISE DO PERÍODO 1999-2019.

**Resumo:** A intensificação dos usos antrópicos agrícolas e não-agrícola em uma bacia hidrográfica gera uma alta dependência no consumo dos recursos naturais locais, em contrapartida do aumento da condição da hemerobia e a redução da capacidade de auto-regulação, em função do declínio da naturalidade. Esta pesquisa avaliou as mudanças do nível de hemerobia resultantes da dinâmica, espacial e temporal, dos usos e coberturas da terra, utilizando o Índice de Distância do Natural ( $D_2N$ ) como ferramenta para o monitoramento e o planejamento ambiental da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1999 – 2019). A classificação e quantificação dos usos e cobertura da terra da bacia hidrográfica foram obtidas com base nas imagens Land-Sat-5 (1999 e 2009) e Land-Sat 8 (2019), por meio do módulo Semi-automatic Classification, no software ArcGis 10.5. A área total da classe de uso natural do solo (vegetação nativa, áreas úmidas e mata ripária) reduziu, em contrapartida ao aumento do uso antrópico agrícola (agricultura e solo exposto), como a classe de uso da terra mais representativo, ao longo do período de 20 anos (1999 a 2019). Foram identificados 05 (cinco) níveis de hemerobia para a bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, com algumas adaptações para contemplar as características bióticas e culturais da mesma, cujas variações quantitativas das áreas evidenciaram a trajetória do padrão antropogênico da bacia hidrográfica, ao longo do período de 20 anos. Este cenário resultou do aumento das áreas dos níveis de hemerobia Cultural (agricultura e solo exposto), Artificial (área urbana e malha viária) e Artificial com elementos naturais (assentamentos rurais, mineração e aeroporto), em contrapartida à redução das áreas dos níveis de hemerobia Próximo ao Natural (áreas naturais e ambientes aquáticos) e Alterado (pastagens), ao longo do período de 20 anos. A análise da matriz de transição de usos da terra, entre os anos de 1999 – 2009 / 2009 – 2019, e 1999 – 2019, apontou que, ao longo do período de 20 anos, cerca de 40% da área total da bacia hidrográfica permaneceu com a mesma composição espacial dos usos da terra. Na área total remanescente (60%) os principais valores de transição foram representados pela redução das áreas dos níveis de hemerobia Próximo ao Natural e Alterado, e aumento consequente das áreas dos níveis de hemerobia Cultural e Artificial / Artificial com elementos naturais. Os resultados do Índice de Distância do Natural ( $D_2N$ ), ao longo do período de 20 anos, confirmaram a dinâmica do processo de antropização da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, em que a paisagem Próxima ao Natural foi reduzida e substituída pela paisagem antropogênica, relacionadas à expansão da agricultura e da urbanização. Os valores ( $D_2N$ ), ao longo do período de 20 anos, para a área da bacia hidrográfica e para os territórios municipais de Comitán de Domínguez, La Independencia e La Trinitária mostraram-se de fácil compreensão e interpretação, além de possibilitar condições comparativas no contexto internacional e nacional, uma vez que a base de cálculo do Índice está relacionada aos valores de usos da terra com diferentes temáticas e em diferentes escalas espaciais. O Índice de Distância do Natural ( $D_2N$ ) demonstrou potencialidade para subsidiar o processo de tomada de decisão quanto ao planejamento e monitoramento ambiental de bacia hidrográfica, adicionando a questão do desenvolvimento de política de uso sustentável da terra. A análise quantitativa espaço-temporal da dinâmica dos valores de  $D_2N$ , agrupados em três e em cinco categorias, evidenciou as principais mudanças na trajetória das atividades antrópicas ocorridas na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, no período de 20 anos. Particularmente, para o intervalo de 0,35 – 1, correspondente as atividades antrópicas associadas à agricultura e a urbanização. Bastante peculiar para a fração de urbanização relacionada à atuação dos assentamentos rurais (*Ejidós*), na forma de espaços legalmente instituídos para inserção efetiva das comunidades campesina e indígena, como parte do histórico da questão da posse da terra.

O cenário relatado indica uma tendência para o comprometimento da sustentabilidade da bacia hidrográfica, ao longo do tempo, devido à redução gradativa e contínua da naturalidade, ao longo do período de 20 anos. A dinâmica do padrão antropogênico da bacia hidrográfica demonstra ser, extremamente,

dependente das políticas do desenvolvimento agrário, como também do contexto histórico e social da posse da terra na região da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán.

**Palavras-chave:** Pressões antrópicas dos usos da terra; Níveis de hemerobia; Índice de Distância do Natural ( $D_2N$ ); Indicador de Naturalidade ( $N_d$ ); Indicador de Distância ao Habitat Natural ( $D_n$ ); Análise de Componentes Principais (ACP).

## RESUMEN

### **CAMBIOS IDENTIFICABLES EN EN NIVEL DE HEMEROBIA RESULTANTE DE LA DINÁMICA DEL USO DE LA TIERRA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO GRANDE COMITÁN (CHIAPAS, MÉXICO). ANÁLISIS DEL PERÍODO 1999-2019.**

**Resumen:** La intensificación de los usos antrópicos agrícolas y no – agrícolas en una cuenca hidrográfica genera una alta dependencias en el consumo de los recursos naturales locales, en contrapartida del aumento de la condición de la hemerobias y la reducción de la capacidad de auto-regulación, en función de la disminución de la naturalidad. Este estudio evalup los cambios del nivel de hemerobia resultado de la dinámica, espacial y temporal, de los usos y coberturas del suelo, utilizando el índice de Distancia del Natural ( $D_2N$ ) como herramienta para supervisar y la planeación ambiental de la cuenca hidrográfica del Rio Grande Comitán (Chiapas, México), en un periodo de 20 años (1999-2019). La clasificación y cuantificación de los usos y cobertura de la tierra de la cuenca hidrográficas fueron obtenidas con base en las imágenes Land-Sat 5 (1999-2009) y Land-Sat 8 (2019), por medio del módulo Semi-automatic Classification, no software Arc Gis 10.5. El área total de la clase del uso natural del suelo (Vegetación nativa, humedales, zona riparia) tuvo una reducción, en contrapartida a el aumento del uso antrópico agrícola (agricultura y suelo expuesto), como la clase de uso de la tierra mas representativo, en un periodo de 20 años (1999-2019). Fueron identificados 05 niveles de hemerobia para la cuenca hidrográfica del Rio Grande Comitán, con algunas adaptaciones para contemplar las características bióticas y culturales de la zona, cuyas variaciones cuantitativas de las áreas evidenciaron la trayectoria del padrón antropogénico de la cuenca hidrográfica, en el periodo de 20 años. Este panorama es resultado del aumento dde las áreas de los niveles de hemerobia Cultural (agricultura y suelo expuesto), Artificial (área urbana y red viaria) y Artificial con elementos naturales (asentamiento s rurales, áreas de minería y aeropuerto), em contrapartida a la reducción de las áreas de los niveles de hemerobia Próximo al natural (áreas naturales y ambientes acuáticos) y Alterado (pastizales), en un periodo de 20 años. El análisis de la matriz de transición de usos de la tierra, entre los años de 1999-2009 / 2009 – 2019 / 1999 – 2019, demostró que, en 20 años, cerca del 40% del área total de la cuenca hidrográfica permaneció con la misma configuración espacial de los usos de los usos de la tierra. En el área total restante (60%) de los principales valores de transición fueron representados por la reducción de las áreas de los niveles de hemerobia Próximo al natural y Alterado, consecuencia del aumento de las áreas de los niveles de hemerobia Cultural y Artificial / Artificial con elementos naturales. Los resultados del índice de Distancia al Natural ( $D_2N$ ), en un periodo de 20 años, confirmo la dinámica del proceso de antropización de la cuenca hidrográfica del Rio Grande Comitán, en que los paisajes del Próximo al natural fueron reducida y substituida por el paisaje antrópico, relacionado a la expansión de la agricultura y de la urbanización. Los valores ( $D_2N$ ), en un periodo de 20 años para el área de la cuenca hidrográfica y para los territorios municipales de Comitán de de Domínguez, La Independencia y La Trinitaria demostró fácil comprensión e interpretación, además de posibilitar condiciones comparativas en el contexto internacional y nacional, una vez que la base del cálculo del índice está relacionada a los valores de uso de la tierra con diferentes temáticas y en diferentes escalas espaciales. El Índice de Distancia al Natural ( $D_2N$ ) demostró potencialidad para subsidiar el proceso de toma de decisiones relacionado a la planeación e supervisión ambiental de la cuenca hidrográfica, sumando el desarrollo de políticas de uso sustentable de la tierra. El análisis cuantitativa espacio temporal de la dinámica de los valores de  $D_2N$ , agrupado en tres y cinco categorías, evidenciando los principales cambios en la trayectoria de las actividades antrópicas ocurridas en la cuenca hidrográfica del Rio Grande Comitán, en el periodo de 20 años. Particularmente para el intervalo de 0,35 -1, correspondiente a las actividades antrópicas asociadas a la agricultura y a la urbanización. Bastante peculiar para la fracción de urbanización relacionado a la actuación de los asentamientos rurales (*Ejidros*), en la forma de espacios legalmente instituidos para la inserción efectiva de las comunidades campesinas e indígenas, como parte del histórico de la cuestión de tenencia de la tierra. El escenario relatado indica una tendencia para el comprometimiento de la sustentabilidad de la cuenca hidrográfica, debido a la reducción gradual y continua de la naturalidad, en un periodo de 20 años. La dinámica del padrón antropogénico de la cuenca hidrográfica demostró ser,

extremamente, dependiente de las políticas de desarrollo agrario, como también del contexto histórico y social de la tenencia de la tierra en la región hidrográfica del Rio Grande Comitán.

**Palabras clave:** Presiones antrópicas de los usos de la tierra; niveles de hemerobia; Índice de Distancia al Natural ( $D_2N$ ), Indicador de Naturalidade ( $N_d$ ); Indicador de Distancia a el Hábitat Natural ( $D_n$ ); Análisis de Componentes Principales (ACP).

## ABSTRACT

**Abstract: IDENTIFIABLE CHANGES IN THE HEMEROBY LEVEL RESULTING FROM THE LAND USE DYNAMICS IN THE GRANDE COMITÁN WATERSHED (CHIAPAS, MEXICO). AN ANALYSIS OF THE 1999-2019 PERIOD.**

The intensification of agricultural and non-agricultural anthropic uses in a watershed generates a high dependence on the consumption of local natural resources, in contrast to the increase in the condition of hemeroby and the reduction of the capacity for self-regulation, due to the decline in naturalness. This research evaluated the changes in the hemeroby levels resulting from the land use and cover dynamic, using the Index Distance to Nature ( $D_2N$ ) as a tool for the environmental monitoring and planning of the Rio Grande Comitán watershed (Chiapas, Mexico), over the 20-year period (1999 - 2019). The classification and quantification of the land use and cover of the watershed were obtained based on the images Land-Sat-5 (1999 and 2009) and Land-Sat 8 (2019), through the Semi-automatic Classification module in ArcGis software 10.5. The total area of the land uses natural class (native vegetation, wetlands and riparian forest) reduced, in contrast to the increase in anthropic agricultural use (agriculture and bare soil), as the most representative land use class, over the 20-year period (1999 to 2019). Five (5) hemeroby levels were identified for the Rio Grande Comitán watershed, with some adaptations to contemplate the biotic and cultural local characteristics, whose quantitative variations in the areas evidenced the anthropogenic pattern trajectory, over the period 20 years. This scenario resulted from the increase of the areas of the Cultural hemeroby level (agriculture and bare soil), Artificial (urban area and road network) and Artificial with natural elements (rural settlements, mining and airport), in contrast to the reduction of the areas of the Near to Natural hemeroby level (natural areas and aquatic environments) and Altered hemeroby level (pastures), over the period of 20 years. The analysis of the land use transition matrix, between the years 1999 - 2009/2009 - 2019, and 1999 - 2019, showed that, over the period of 20 years, about 40% of the total watershed area remained with the same spatial composition of land uses. In the remaining total area (60%), the main transition values were represented by the reduction of the areas of the hemeroby level Near to Natural and Altered, and a consequent increase in the areas of Cultural and Artificial / Artificial with natural elements hemeroby levels. The results of the Index Distance to Nature ( $D_2N$ ), over the 20-year period, confirmed the dynamics of the anthropization process of the Rio Grande Comitán watershed, in which the Near to Natural landscape was reduced and replaced by an anthropogenic landscape, related to the expansion of agriculture and urbanization. The  $D_2N$  values, over the 20-year period, for the watershed area and for the municipal territories of Comitán de Domínguez, La Independencia and La Trinitaria proved to be easy to understand and interpret, in addition to enabling comparative conditions in the international and national context, since the index calculation is related to land use values with different themes and at different spatial scales. The  $D_2N$  demonstrated the potential to support the decision-making process regarding the environmental planning and monitoring of the watershed, adding the issue of developing a sustainable land use policy. The quantitative spatio-temporal analysis of the dynamics of  $D_2N$  values, grouped into three and five categories, showed the main changes in the trajectory of anthropic activities that occurred in the Rio Grande Comitán watershed, in the period of 20 years. Particularly, for the 0.35 - 1 range, corresponding to human activities associated with agriculture and urbanization. Quite peculiar to the fraction of urbanization related to the performance of rural settlements (*Ejidors*), in the form of spaces legally instituted for the effective insertion of campesino and indigenous communities, as part of the history of the issue of land tenure. The reported scenario indicates a trend towards the watershed sustainability, over time, due to the gradual and continuous reduction of naturalness, over the 20-year period. The dynamics of the watershed anthropogenic pattern proves to be extremely dependent on agricultural development policies, as well as on the historical and social context of land tenure in the Rio Grande Comitán watershed region.

**Key-Words:** Anthropic land-use pressures; Hemeroby levels; Index Distance to Nature ( $D_2N$ ), Indicator Distance to Natural Habitat ( $D_n$ ); Degree of naturalness ( $N_d$ ); Principal Component Analysis (PCA)

## 1. Introdução

O espaço ocupado pelas atividades antrópicas, em muitas regiões do globo terrestre, está atingindo um limiar crítico, como consequência da irreversibilidade das mudanças de usos da terra, decorrente dos conflitos e do equilíbrio entre os diferentes tipos de capital impressos na paisagem regional ou local (SANTOS, 2008).

Ao longo do tempo, as áreas antrópicas agrícolas vêm substituindo, progressivamente, as áreas de cobertura natural, como demanda a um aumento contínuo da produção agrícola, agregado ao aumento das áreas antrópicas não-agrícolas resultante da expansão do processo de urbanização e do aumento da densidade populacional. O aumento das atividades antrópicas em resposta às demandas da sociedade, tornou-se um dos principais fatores de pressão nas mudanças de usos da terra. Essa pressão reduz a capacidade da manutenção do equilíbrio entre os sistemas naturais e os sistemas modificados (SEMARNAT, 2004; DUTRA, 2017; MAZZUCO et al., 2017). Esses aspectos tornaram a conservação dos sistemas naturais um dos princípios fundamentais para alcançar a sustentabilidade ecológica, considerando a conservação de todos os recursos naturais: a água, o ar e, principalmente, o solo, para que, desta forma, seja garantido o rendimento máximo e sustentável dos mesmos. A conservação da natureza também considera a proteção das paisagens como garantia da continuidade dos diferentes habitats e cenários para o desenvolvimento diversificado das atividades humanas (PAIVA et al., 2018).

A interação sociedade-natureza é reconhecida pela apropriação dos sistemas naturais e pela ação humana, constituindo-se em um conflito através do tempo e o espaço, no qual fatores de pressão, inerentes e aquém da dimensão ecológica, buscam conciliar o desenvolvimento econômico e a conservação. É na unidade da paisagem, principalmente, representada pela bacia hidrográfica, que se desenvolvem e se integram as ações antrópicas, imprimindo um mosaico heterogêneo de unidades interativas, cuja heterogeneidade espacial pode ser representada, em uma determinada escala de observação, por diferentes tipos de uso e cobertura da terra (**Figura 1**).

As alterações na composição espacial das paisagens constitui um processo natural; No entanto, a frequência das mesmas está aumentando cada vez mais (REIF & WALENTOWSKI, 2008), de forma que a dinâmica dos usos da terra vem sendo considerada um dos principais fatores de

pressão para a sustentabilidade, devido a magnitude das mudanças (espacial e temporal) nos ecossistemas naturais e semi-naturais (OLAK, et al., 2003).

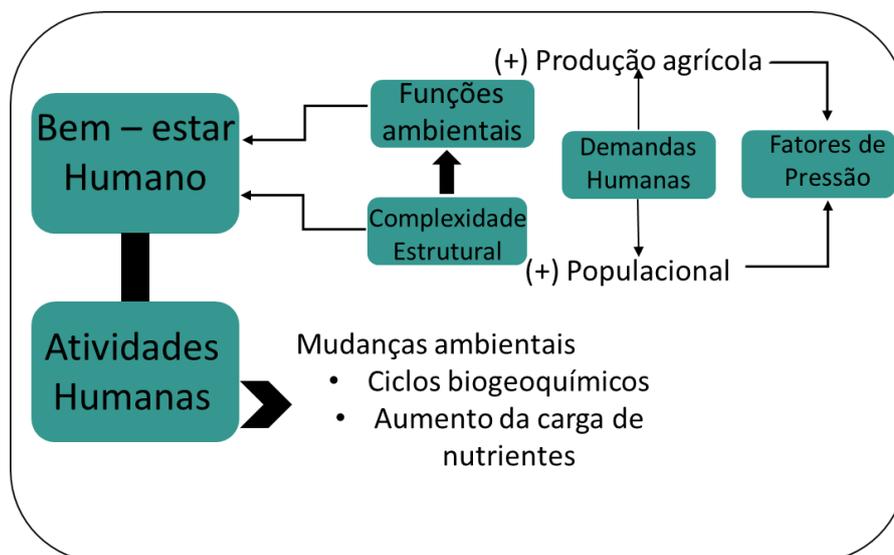


Figura 1. Representação da dependência das atividades humanas e o bem-estar humano com as funções ambientais. Que por sua vez, se limita a satisfazer as demandas humanas (aumento de população e aumento de produção agrícola) constituindo os principais fatores de pressão na complexidade estrutural e causando mudanças ambientais ao longo do tempo.

Ao longo do tempo, os territórios mudam, continuamente, e novas territorialidades são definidas (MARQUES, 2012).

Alguns autores têm ressaltado a importância do uso da bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento no planejamento ambiental, uma vez que o limite territorial considerado é abordado de maneira sistemática, com a finalidade de analisar o manejo integrado dos recursos, dos serviços ecossistêmicos e das características intrínsecas da unidade de gerenciamento da paisagem, como também, do resultado da interação com o entorno natural, social, político e econômico (SALLES et al., 2018; LEAL, 2012).

A expansão da antropização em resposta aos fatores socioeconômicos define os usos e cobertura da terra e os padrões dos recursos naturais (BLASI et al., 2003; ACOSTA et al., 2005). Estes, por sua vez, definem os padrões espaciais da paisagem cultural, diversos em valores estéticos, econômicos e ecológicos, resultando na degradação ou perda de habitat, perda de solo e empobrecimento dos sistemas de suporte à vida (HABERL et al., 2004). Esses processos interferem na sustentabilidade, pois esgotam o capital natural, que proporciona os bens e serviços, pelos

diferentes usos da terra, que atendem as questões sócio-econômicas e ambientais mais relevantes de uma região. Possibilitam, ainda, identificar funções ecológicas que são dificultadas ou aprimoradas em vários cenários de mudanças dos usos da terra (PEREZ-SOBA et al., 2008; PEREIRA et al. 2010).

Estudos empíricos sobre a relação entre a intensidade do uso da terra e a diversidade total de espécies demonstram a tendência da redução da biodiversidade, ao longo de um gradiente de aumento de perturbações e, portanto, reduzindo a naturalidade (RÜDISSER et al., 2012).

A naturalidade expressa o estado do componente natural do ecossistema, em oposição ao estado cultural, criado pelas ações antrópicas (REIF & WALENTOWSKI, 2008).

O termo hemerobia foi usado pela primeira vez pelo finlandês botânico Jalas em 1955, e desde então, vem sendo usado como um termo complementar ao de "naturalidade" (OLAK, et al 2003). A relação entre hemerobia e naturalidade é bastante controversial na literatura; entretanto, a maioria dos autores concorda que são extremos opostos de um gradiente contínuo (WINTER, 2012).

A hemerobia foi conceituada, por Sukopp (1969), como a totalidade dos efeitos antrópicos na paisagem. Dessa forma, paisagens com menor nível de hemerobia são as que apresentam capacidade de auto regulação, sem influência humana direta, enquanto que as com maior nível de hemerobia são aquelas, intencionalmente, estabelecidas pelas ações desenvolvimentistas, caracterizadas pelo domínio de estruturas e processos tecnológicos, e com menor capacidade de auto-regulação (SUKOPP,1969).

Nos últimos anos, vários índices foram propostos para monitorar e quantificar mudanças no padrão espacial da paisagem e nos tipos de uso da terra. Os conceitos de “proximidade com a natureza” e “hemerobia” têm possibilitado a proposição de indicadores de hemerobia, para avaliar a naturalidade e, respectivamente, a hemerobia da paisagem (STEINHARDT et al., 1999). De modo geral, estes índices estabelecem diversas classes de hemerobia de uma área de referência, apresentando os resultados da hemerobia em vários intervalos de tempo, para estimar o impacto cumulativo das mudanças no uso da terra no status ambiental (WALZ e STEIN, 2014).

Diversos sistemas de classificação foram propostos para descrever os níveis de hemerobia, para avaliação dos efeitos de diferentes padrões de utilização da paisagem (OLAK, et al., 2003).

Jalas (1955) propôs uma escala com 04 (quatro) níveis de hemerobia, de acordo com o grau de perturbação do solo. Mais recentemente, RÜDISSER et al. (2012) propuseram o Índice Distância do Natural (***D<sub>2</sub>N***), em uma escala com 07 (sete) níveis de hemerobia, representando uma medida do impacto humano, variando desde condições ahemeróbias (vegetação natural sem alterações pelo homem), à condições metahemeróbias, completamente alteradas pelo homem e sem vegetação natural remanescente, além dos valores intermediários de perturbação. De modo geral, os diferentes níveis de hemerobia propostos refletem as consequências das interferências antrópicas, principalmente, mudanças de usos da terra, sobre plantas, animais, e o ecossistema (HILL et al., 2002, RÜDISSER et al., 2012, SUKOPP, 1969, TESTI et al., 2012; MAZZUCO et al., 2017).

Indicadores de sustentabilidade constituem ferramentas fundamentais na avaliação do desenvolvimento sustentável ou, quando apropriado, à gestão e planejamento ambiental de uma unidade de gerenciamento da paisagem. Agregam um conjunto de princípios, critérios e objetivos evocados pelo conceito de sustentabilidade" (ROMEIRO, 2004), baseado em formas específicas de atuação, permitindo que as informações sócio-econômicas e ecológicas sejam selecionadas, integradas e processadas.

Na Ecologia e no planejamento ambiental indicadores estruturais da paisagem vêm sendo aplicados: na avaliação do estado de conservação de uma área, ou para avaliar a eficiência da gestão ambiental (KIEDRZYŃSKI et al., 2014); na capacidade de descrever um estado, ou na avaliação das respostas às mudanças ambientais (HEINK & KOWARIK, 2010); na avaliação dos riscos e ameaças das mudanças dos usos / cobertura da terra em relação à sustentabilidade do ecossistema, resultando em informações quantificáveis que refletem as condições ambientais e dos recursos naturais, e suas relações com atividades antropogênicas (WRBKA et al., 2004; PÉREZ -SOBA et al., 2008); na projeção de cenários das condições de naturalidade de bacias hidrográficas, ao longo do tempo, com base na utilização de um Indicador estrutural da paisagem (FUSHITA et al., 2016; ROMANINI et al., 2016; COSTA et al., 2017), o Indicador de Urbanidade (*IB*) que avalia o quanto as paisagens são dominadas por sistemas fortemente alterados pelo homem (WRBKA et al., 2004; O'NEILL et al., 2007), e ainda, na avaliação das mudanças dos usos da terra e do impacto antropogênico na biodiversidade com base no Índice Distância do Natural (***D<sub>2</sub>N***) (RÜDISSER et al 2012; ALMEIDA et al., 2018).

## 2. Objetivo

Este estudo abordou as interações entre a dinâmica dos usos e cobertura da terra, como ferramenta para subsidiar o monitoramento da atividade antrópica e o planejamento ambiental da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1999 – 2019), com o objetivo de responder as seguintes questões:

- a) Os valores de mudanças entre os níveis de hemerobia evidenciaram alterações na extensão e ocupação antrópica da bacia hidrográfica e para as frações das áreas de extensão dos municípios inseridos na bacia hidrográfica, ao longo do período de 20 anos?
- b) A dinâmica (temporal e espacial) dos valores do Índice de Distância do Natural (**D<sub>2</sub>N**) apresentou mudanças identificáveis com relação ao processo de antropização da bacia hidrográfica e para as frações das áreas de extensão dos municípios inseridos na bacia hidrográfica, ao longo do período de 20 anos?

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1. Área de estudo

Esta investigação foi realizada na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán que está localizada entre as coordenadas  $90^{\circ}10'7.6''$  e  $91^{\circ}39'41.2''$  de longitude Oeste, e  $16^{\circ}04'17.1''$  e  $16^{\circ}25'30.8''$  de latitude Norte (SAGARPA – FIRCO 2007b). Abrange os territórios municipais de Comitán, La Independencia, e La Trinitária, e uma pequena área do município de Las Margaritas, (Chiapas, México), além de uma localidade (Nentón) da República da Guatemala (**Figura 2**).

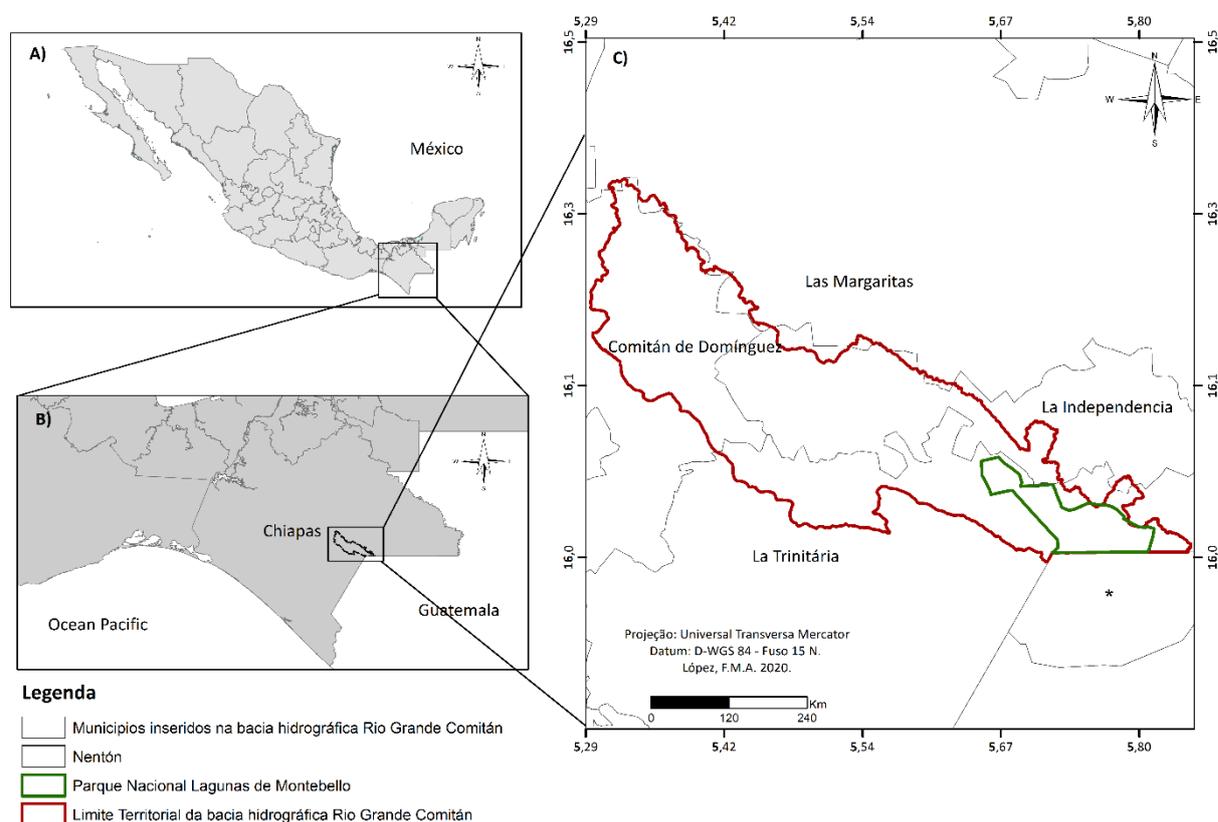


Figura 2. (A) Localização da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Estado de Chiapas, México). (B) Localização da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán no Estado de Chiapas (México), e (C) Limites dos territórios municipais de Comitán de Domínguez, La Independencia, La Trinitária e Las Margaritas, e do Parque Nacional Lagunas de Montebello (Chiapas, México). (\*) Município de Nentón, Guatemala. Área territorial não considerada na extensão total da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México) neste estudo

A bacia hidrográfica também é conhecida como bacia hidrográfica do Rio Grande (CONAGUA, 2006), sub-bacia hidrográfica do Comitán, ou bacia hidrográfica Lagos / Lagunas de Montebello, denominações dependentes da ênfase no trajeto do rio principal, em uma parte específica de sua geografia, ou no sistema lagunar de Montebello, inserido no Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM), localizado na região Sul – Sudeste da bacia hidrográfica (**Figura 2**), na divisa com a República da Guatemala.

O clima regional é classificado como temperado sub-úmido, com temperatura mensal de 23,6°C. A precipitação anual média é de 1.862 mm distribuída nos períodos: úmido (abril a novembro), e seco (novembro a abril).

A vegetação do México foi categorizada em 12 zonas, 05 das quais com características de Zona Temperada, e 07 com características de Zona Tropical, uma das quais (Floresta Tropical de Montanha) resultado da combinação de elementos das zonas temperada e tropical. A vegetação das zonas temperadas ocupa ao redor de 70% da superfície terrestre do México. A temperatura crítica de inverno é o principal fator que diferencia as duas zonas, enquanto que o gradiente de precipitação, dentro de cada zona, determina os tipos de fitofisionomias. Nesta classificação as diversas fitofisionomias são mais enfatizadas do que a composição florística. Do mesmo modo, a proposição desta classificação considerou apenas os tipos clímax, sem considerar o estágio sucessional resultante da ocupação e alterações antrópicas (LEOPOLD, 1950).

### 3.2. Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos metodológicos desenvolvidos neste estudo estão apresentados na **Figura 3**.

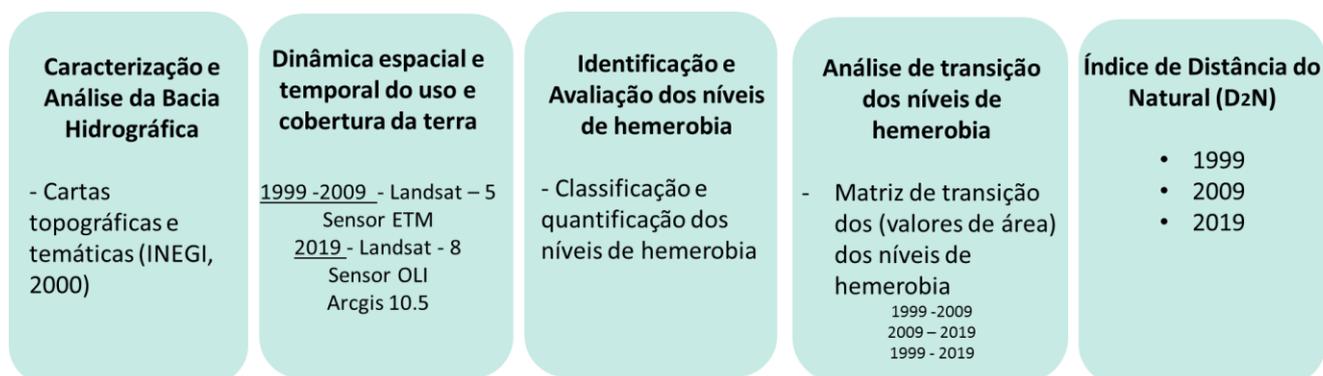


Figura 3. Diagrama dos procedimentos relacionados aos quatro eixos metodológicos desenvolvidos nesta investigação.

### 3.2.1. Caracterização e análise ambiental da área de estudo

A caracterização e análise ambiental da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán foi organizada em um banco de dados georreferenciados no sistema de projeção World Geodetic System (WGS), Datum D-WGS, 84 – Fuso 15 N, configurado pelas cartas temáticas de: hidrografia, fitofisionomia, edafologia, geologia, e hipsometria, obtidas do Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2007), na escala 1:50.000.

### 3.2.2. Dinâmica espacial e temporal do uso e cobertura da terra

O mapeamento e a quantificação dos usos e coberturas da terra da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán foram obtidos com base nas imagens Landsat-5 sensor ETM, para os anos de 1999 e 2009, e Landsat-8, sensor OLI (Operational Land Imager), para o ano de 2019, com resolução espacial de 30m, e composição de 3 bandas (RGB) (**Tabela 1**). As imagens Landsat utilizadas não foram correspondentes nas datas de passagem em função da interferência da cobertura por nuvens. Posteriormente, as imagens passaram por processamento de calibração radiométrica e correção atmosférica no software QGIS 2.18, pelo módulo Semi-automatic Classification.

Tabela 1. Características técnicas das imagens Landsat-7 e Landsat-8 utilizadas neste estudo.

Satélite-Sensor	Resolução Espacial	Composição Colorida	Resolução Radiométrica	Data de Passagem
Landsat-5, sensor ETM 1999	30 m	5R 4G 3B	8 bit	05/12/1999
Landsat-5, sensor ETM 2009	30 m	5R 4G 3B	8 bit	06/01/2009
Landsat-8, sensor OLI 2019.	30 m	6R 5G 4B	16 bit	01/04/2019

Os tipos de usos e cobertura da terra foram classificados por meio da abordagem de classificação orientada a objeto (GEOBIA - Geographic Object-Based Image Analysis), em que cada cena das imagens de satélite foi segmentada e classificada no programa Arc Gis 10.5. Para as configurações de Segmentação (Settings Segment) foi utilizado o algoritmo Segment Mean Shift e nível de escala de 50.

Cada polígono de uso e cobertura da terra foi relacionado à uma categoria hierárquica pré-estabelecida (natural, aquático, antrópico agrícola e antrópico não-agrícola), baseada no Millennium Ecosystem Assessment (2005), e no Plan de Gestión de la Cuenca Rio Grande – Lagunas de Montebello (2009). Os mapas preliminares de uso e cobertura da terra, para os anos de 1999, 2009 e 2019 foram pós-processados por filtro majoritário, convertidos para o formato vetorial no software ArcGis 10.5. Posteriormente, algumas das tipologias que não foram identificadas pelo algoritmo, foram modificadas pela digitalização em tela e discriminadas pelos critérios de tonalidade, textura e entorno (MOREIRA, 2011). Os valores das áreas de usos da e cobertura da terra foram conferidos e refinados visualmente, com base na visita em novembro de 2016 e no levantamento de campo, de setembro a outubro de 2018, percorrendo todos os municípios inseridos na área de estudo, e das imagens de satélite em Google Earth Pro.

Para analisar as inter-relações entre os tipos de classes de usos da terra em relação ao período de 20 anos, e explicar essas variáveis em termos de suas dimensões inerentes, foi aplicada Analysis Principal Components (PCA). O número de componentes principais (classes de usos da terra (Natural, Antrópico Agrícola e Antrópico Não-Agrícola) anos (1999, 2009 e 2019), correspondeu ao número de variáveis consideradas na análise, como os principais componentes que explicam a maior parte da variação total. As informações deste conjunto de dados correspondem à variação total que ele contempla. O objetivo da PCA foi identificar as direções (ou componentes principais) ao longo das quais a variação dos dados é máxima. A PCA reduz a dimensionalidade dos dados multivariados para dois componentes principais, que podem ser visualizados graficamente, com perda mínima de informações. A Visualização e Interpretação dos resultados foi obtida por meio do PCA Biplot package, considerado extremamente útil quando há um pequeno número de variáveis. Portanto, na representação Biplot o foco principal está na direção das variáveis e não na sua posição absoluta no gráfico (ABDI & WILLIANS LYNNE, 2010; Principal Component Methods in R: Practical Guide. PCA).

### 3.2.3. Identificação e avaliação dos níveis de hemerobia

Os tipos de usos e coberturas da terra foram correlacionados com uma escala ordinal de sete graus de Naturalidade: Natural, Próximo ao natural, Semi-natural, Alterado, Cultural, Artificial com elementos naturais e Artificial, baseada na chave de classificação proposta por RÜDISSER et al. (2012), e posteriormente aplicada por Almeida et al. (2018) (**Quadro 1**).

Neste estudo a escala ordinal de classificação foi categorizada em níveis de hemerobia, relacionados com um gradiente da atividade antropogênica na bacia hidrográfica, resultante da influência dos usos da terra em relação à biodiversidade (Sukopp 1969; RÜDISSER et al., 2012; Testi et al., 2012). A categorização dos níveis de hemerobia em relação aos tipos de usos e cobertura da terra foi atribuída com base no julgamento de especialistas e na experiência de pesquisa de campo na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán. A avaliação dos níveis de hemerobia foi realizada com base nos valores quantitativos das áreas dos tipos de usos e cobertura da terra da bacia hidrográfica, ao longo do período de 20 anos (1999 – 2029).

Para analisar as inter-relações entre os níveis de hemerobia (Próximo ao Natural, Alterado, Cultural, Artificial com elementos naturais e, Artificial) em relação ao período de 20 anos, e explicar essas variáveis em termos de suas dimensões inerentes, foi aplicada a Analysis Principal Component (PCA). O número de componentes principais relacionado aos níveis de hemerobia e anos (1999, 2009 e 2019), correspondeu ao número de variáveis consideradas na análise, como os principais componentes que explicam a maior parte da variação total. As informações deste conjunto de dados correspondem à variação total que ele contempla. O objetivo da CPA foi identificar as direções (ou componentes principais) ao longo das quais a variação dos dados é máxima. A CPA reduz a dimensionalidade dos dados multivariados para dois componentes principais, que podem ser visualizados graficamente, com perda mínima de informações. A Visualização e Interpretação dos resultados foi obtida por meio do PCA Biplot package, considerado extremamente útil quando há um pequeno número de variáveis. Portanto, na representação Biplot o foco principal está na direção das variáveis e não na sua posição absoluta no gráfico (ABDI & WILLIAMS LYNNE, 2010; Principal Component Methods in R: Practical Guide. PCA).

Quadro 1. Categorização e descrição dos graus de Naturalidade relacionada a influência antropogênica, resultante dos usos da terra, em relação à biodiversidade (RÜDISSER et al., 2012).

Graus de Naturalidade (Rudisser et al., 2012)	Descrição (Rüdisser et al., 2012)	Tipos de usos da terra na Áustria (Rüdisser et al. (2012)	Tipos de usos da terra na zona de entorno da Floresta Nacional de Irati (Almeida et al., 2018)
1. Natural	Sistemas naturais com pouca ou nenhuma influência antropogênica (por exemplo, poluição global).	Rocha nua, áreas de vegetação escassa, glaciares e neve perpétua, pântanos interiores, turfeiras; florestas naturais.	Vegetação Herbácea.
2. Próximo ao natural	A estrutura e o tipo do ecossistema são similares às observadas no ecossistema natural, embora a composição em espécies de plantas pode ser alterada por influências antropogênicas.	Prados naturais (acima da linha de madeira), charnecas, corpos d'água; florestas geridas de forma sustentável.	Floresta de Araucaria e corpos de água.
3. Semi-natural	O ecossistema natural não está mais presente, tendo sido transformado em um novo tipo devido às atividades antropogênicas.	Prados alpinos substituindo florestas, pastagens, e pousios.	*
4. Alterado	Além do ecossistema alterado, o solo é regularmente perturbado por atividades antropogênicas (por exemplo, drenagem, deslocamento regular, fertilização intensa).	Vinhedos, pastagens intensivamente usadas na pecuária, plantação de floresta de energia.	Silvicultura.
5. Cultural	Impactos intensos e regulares levam à degradação do solo natural. Elementos florísticos naturais são reduzidos ao mínimo (<25% de cobertura).	Terras aráveis, áreas urbanas verdes, instalações esportivas e de lazer.	α-atividades agrícolas em pequenas propriedades.
			β - atividades agrícolas em médias e grandes propriedades.
6. Artificial com elementos naturais	Sistemas artificiais com elementos naturais; mudanças, intensivas e/ou irreversíveis, do terreno e da estrutura da paisagem; selagem do solo até 30%; elementos naturais sob a forma de biótopos secundários.	Assentamentos rurais, locais de extração mineral, áreas de deposição de lixo, aeroportos.	*
7. Artificial	Sistemas ou estruturas artificiais, impermeabilidade do solo acima de 30%.	Malha urbana contínua, unidades industriais ou comerciais, malha rodoviária e ferroviária.	Áreas urbanas e malha viária.

(\*) Não-identificado

### 3.2.4. Análise da transição dos níveis de hemerobia

A avaliação das mudanças entre os valores de áreas dos níveis de hemerobia, para a área total da bacia hidrográfica e para a fração da área de extensão dos municípios de Comitán de Domínguez, La Independencia e La Trinitária, com as maiores áreas de ocupação na bacia hidrográfica, foi baseada na dinâmica dos usos da terra na bacia hidrográfica, ao longo do período de 20 anos (1999, 2009, 2019).

A identificação das taxas de mudanças entre os níveis de hemerobia na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, entre os anos de 1999 – 2009 / 2009 – 2019, e 1999 – 2019, foi obtida por meio da matriz de transição, utilizando o comando CrossTab (Cross Tabulation). A representação espacial dos valores de transição dos níveis de hemerobia na bacia hidrográfica foi obtida com o uso do software Arc Gis 10.2, ao longo do período de 20 anos.

### 3.2.5. Índice Distância do Natural ( $D_2N$ )

O Índice Distância do Natural ( $D_2N$ ) foi aplicado para avaliar a influência do processo de antropização associado à mudança da cobertura antrópica (agrícola e não-agrícola) na condição da biodiversidade, resultante das mudanças de usos da terra na bacia hidrográfica, ao longo do período de 20 anos (1999, 2009, e 2019). Esse procedimento foi, simultaneamente, aplicado para avaliação da área total da bacia hidrográfica e para as frações das áreas de extensão dos municípios de Comitán de Domínguez, La Independencia e La Trinitária, que apresentam as maiores áreas de ocupação da bacia hidrográfica.

Os valores de  $D_2N$  resultaram do produto dos vetores *rasters* para o cálculo dos Indicadores: de Naturalidade ( $N_d$ ) e Distância do Habitat Natural ( $D_n$ ). Os graus de Naturalidade ( $N_d$ ) foram baseados nos níveis de hemerobia utilizados para classificar as informações referentes às mudanças de usos e cobertura da terra, categorizados entre 1 (Um), relacionado aos sistemas naturais sem influência antrópica, até 7 (Sete), correspondente aos sistemas completamente artificiais, tais como, áreas urbanas e industrializadas, e malha viária. Os valores de Distância do Habitat Natural ( $D_n$ ), foram estimados, para cada píxel, com base na distância Euclidiana com relação ao próximo habitat, configurado para o nível de hemerobia Próximo ao Natural (Rüdisser et al. 2012).

Os valores adimensionais de  $D_2N$  foram operacionalizados por meio de uma classificação simplificada dos tipos de paisagem, variando entre 0 (Zero) e 1 (Um), com base nos níveis de hemerobia e na simulação dos Indicadores ( $N_d$ ) e ( $D_n$ ). No esquema simplificado (**Quadro 2**) o valor 0 (Zero) indica a *condição natural / próxima do habitat natural*, enquanto que Um (1) indica a *condição completamente artificial / distante do habitat natural*, para os Indicadores ( $N_d$ ) e ( $D_n$ ), respectivamente (Rüdisser et al. 2012).

Os valores de  $D_n$  constituem uma medida de distância que pode aumentar, teoricamente, para o infinito. Quanto maior a distância, menor a influência do habitat natural. Para isso foi utilizado um valor de corte (1000m) de distância entre os habitats naturais, considerando as distâncias de deslocamento nas áreas de forrageamento (*home range*) e dispersão das espécies (RÜDISSER et al. 2012), relacionados aos esquemas (**Quadro 2**).

Os valores de  $D_2N$  foram então agrupados em 03 (três) categorias, com base em critérios descritos em RÜDISSER et al. (2012): (1) Valores de 0 a 0,06, correlacionados com a classe natural de uso da terra da bacia hidrográfica, correspondentes ao nível de hemerobia Próximo ao Natural; (2) Valores entre 0,06 a 0,35, correlacionados com o nível de hemerobia Alterado, com pouca quantidade de elementos naturais; e (3) Valores entre 0,35 a 1, caracterizados pelos níveis de hemerobia Cultural, Artificial com elementos naturais e Artificial, correspondentes as áreas antrópicas agrícolas, com cultivo intensivo, e as áreas antrópicas não-agrícolas (**Quadro 2**).

Quadro 2 Sistemas de classificação relacionados a 03 ( 0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 1) e 05 (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 0,8 / 0,8 – 0,9 / 0,9 – 1) categorias de valores de  $D_2N$ , com base nos valores normalizados de dos Indicadores de Naturalidade ( $N_d$ ) e de Distância do Habitat Natural ( $D_n$ )

D <sub>n</sub> (Nomalizado)				
Próximo ao natural	Alterado	Intensamente cultivado e/ou urbanizado		
		0,35-1		
		Cultural	Artificial com elementos naturais	Artificial
0-0,06	0,06-0,35	0,35-0,8	0,8-0,9	0,9-1
N <sub>d</sub> (Nomalizado)				

O esquema com 05 (cinco) categorias de valores de  $D_2N$  foi utilizado para a melhor interpretação da influência dos tipos distintos usos antrópicos, agrícola e não-agrícola, na bacia hidrográfica. A classificação original simplificada dos valores de  $D_2N$ , 0 (Zero) a 1 (Um) (RÜDISSEER et al., 2012) foi modificada com a ampliação do intervalo 0,35 – 1, descrita a seguir: (1) Valores de 0 a 0,06, relacionados com a classe natural de uso da terra da bacia hidrográfica, correspondentes as áreas do nível de hemerobia Próximo ao Natural; (2) Valores entre 0,06 a 0,35, relacionados com o nível de hemerobia Alterado, com poucos elementos naturais; (3) Valores entre 0,35 a 0,8, caracterizados pelo nível de hemerobia Cultural, configurado como áreas antrópicas agrícolas com cultivo intensivo; (4) Valores entre 0,8 a 0,9, caracterizados pelos nível de hemerobia Artificial com elementos naturais, configurados pelas áreas antrópicas não-agrícolas, e (5) Valores entre 0,9 a 1, caracterizados pelos nível de hemerobia Artificial, configurados como áreas antrópicas não-agrícolas, estritamente urbanas.

Os valores de áreas (%) do  $D_2N$  para a bacia hidrográfica foram espacializados, para ambos os esquemas de classificação propostos, ao longo do período de 20 anos (1999, 2009 e 2019).

Para verificar a ocorrência de diferenças estatisticamente significativas entre os valores de  $D_2N$ , para 03 e 05 categorias, respectivamente, ao longo do período de 20 anos (1999, 2009 e 2019), e explicar essas variáveis em termos de suas dimensões inerentes, foi aplicada a Analysis Component Principal (PCA).

O número de componentes principais para categorias (03) de valores de  $D_2N$  (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 1) e anos (1999, 2009 e 2019), bem como, categorias (05) de valores de  $D_2N$  (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 0,8 / 0,8 – 0,9 / 0,9 – 1) e anos (1999, 2009 e 2019), correspondeu, simultaneamente, ao número de variáveis consideradas na análise, como os principais componentes que explicam a maior parte da variação total. As informações destes conjuntos de dados correspondem à variação total que eles contemplam. O objetivo da PCA foi identificar as direções (ou componentes principais) ao longo das quais a variação dos dados é máxima. A PCA reduz a dimensionalidade dos dados multivariados para dois componentes principais, que podem ser visualizados graficamente, com perda mínima de informações (ABDI & WILLIANS LYNNE, 2010; *Principal Component Methods in R: Practical Guide*. PCA).

### 3.2.6. Análise da transição dos valores de $D_2N$

Para a identificação e avaliação das taxas de mudanças dos valores de  $D_2N$ , para 03 e 05 categorias, respectivamente, na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, entre os anos de 1999 – 2009 / 2009 – 2019, e 1999 – 2019, foi aplicada a matriz de transição, utilizando o comando CrossTab (Cross Tabulation). A representação espacial da transição dos valores de transição de  $D_2N$  na bacia hidrográfica foi obtida com o uso do software Arc Gis 10.2, ao longo do período de 20 anos.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1. Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán

#### 4.1.1 Hidrografia

A bacia hidrográfica Río Grande Comitán está inserida na região superior da bacia hidrográfica do rio Usumacinta, Região Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta, correspondente ao rio Lacantún. A Laguna Juznajib abastece a bacia hidrográfica do Río Grande Comitán, estando situada na parte norte do município de Comitán de Domínguez (CONAGUA, 2007), estando delimitada por um conjunto de nove (09) microbacias hidrográficas, 05 (cinco) das quais são atravessadas pelo Rio Grande (CONAGUA, 2007).

Em seu percurso o Rio Grande recebe o aporte de rios intermitentes que levam água apenas no período de chuvas, ou, imediatamente, após o mesmo. Enquanto que, na região central da bacia hidrográfica, com o nível mínimo de elevação de 1.300m, além de outros aspectos fisiográficos relevantes, predominam rios efêmeros, que desaparecem **(Figura 4)**.

O Rio Grande desemboca em um sistema de áreas úmidas (humedales), nas proximidades do Parque Nacional Lagunas de Montebello, em um local conhecido como Paso del Soldado. Há muita controvérsia se os lagos formados nas áreas úmidas estão ligados ao sistema lagunar localizado dentro do Parque Nacional Lagunas de Montebello (INEGI, 2007) **(Figura 4)**. O volume da água da bacia hidrográfica é de 27.010.326,62 m<sup>3</sup>, sendo demandado para os usos aquícola, agrícola, doméstico, pecuário, público e urbano (SEMARNAT s-d).

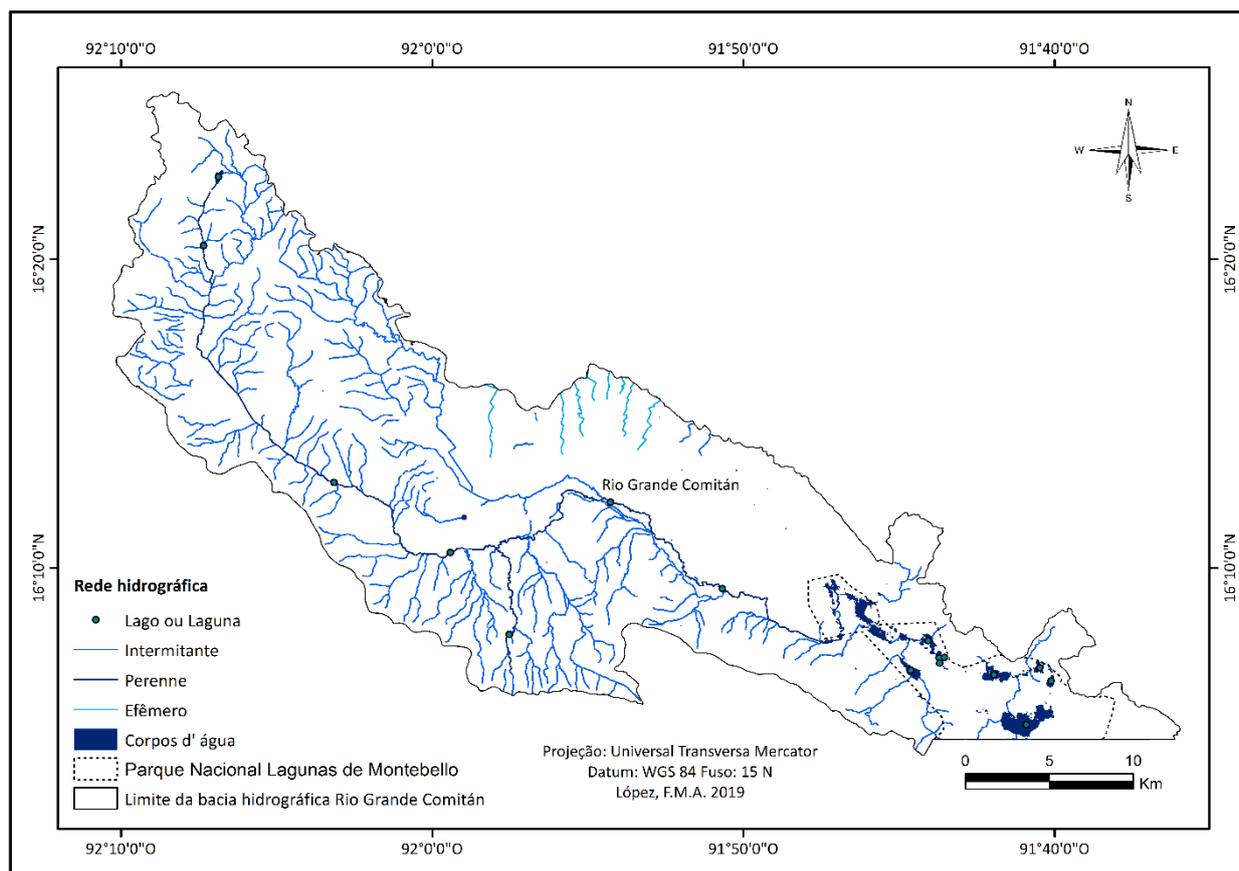


Figura 4. Hidrografia da bacia hidrográfica Rio Grande Comitán (Chiapas, México).

#### 4.1.2. Vegetação

Os principais tipos de vegetação observados na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), com base nos dados obtidos em INEGI (2007) são (**Figura 5**): Floresta de Carvalho, Floresta de Pinheiro, Floresta Alta Perenifólia, Floresta de Carvalho-Pinheiro, Floresta de Pinheiro-Carvalho, Floresta Mesófila de Montanha, e Vegetação Hidrófila.

O tipo de vegetação predominante na área de estudo é a floresta de pinheiro, frequentemente, associada à áreas de clima ameno, foi considerada a zona mais importante pois, historicamente, foi utilizada para o cultivo de milho. O empobrecimento da vegetação e outros recursos naturais vêm ocorrendo como resultado da expansão urbana e de práticas agrícolas inadequadas (SEMARNAT, 2007).

Pérez et al. (2007) descreveram que a vegetação nativa da bacia hidrográfica está relacionada às fitofisionomias floresta mistas pinheiro - carvalho, floresta de carvalho, floresta de pinheiro, floresta fragmentada de pinheiro, e vegetação secundária, além de áreas antrópicas ocupadas por atividades agrícolas e assentamentos humanos sem vegetação aparente (Pérez et al. 2007).

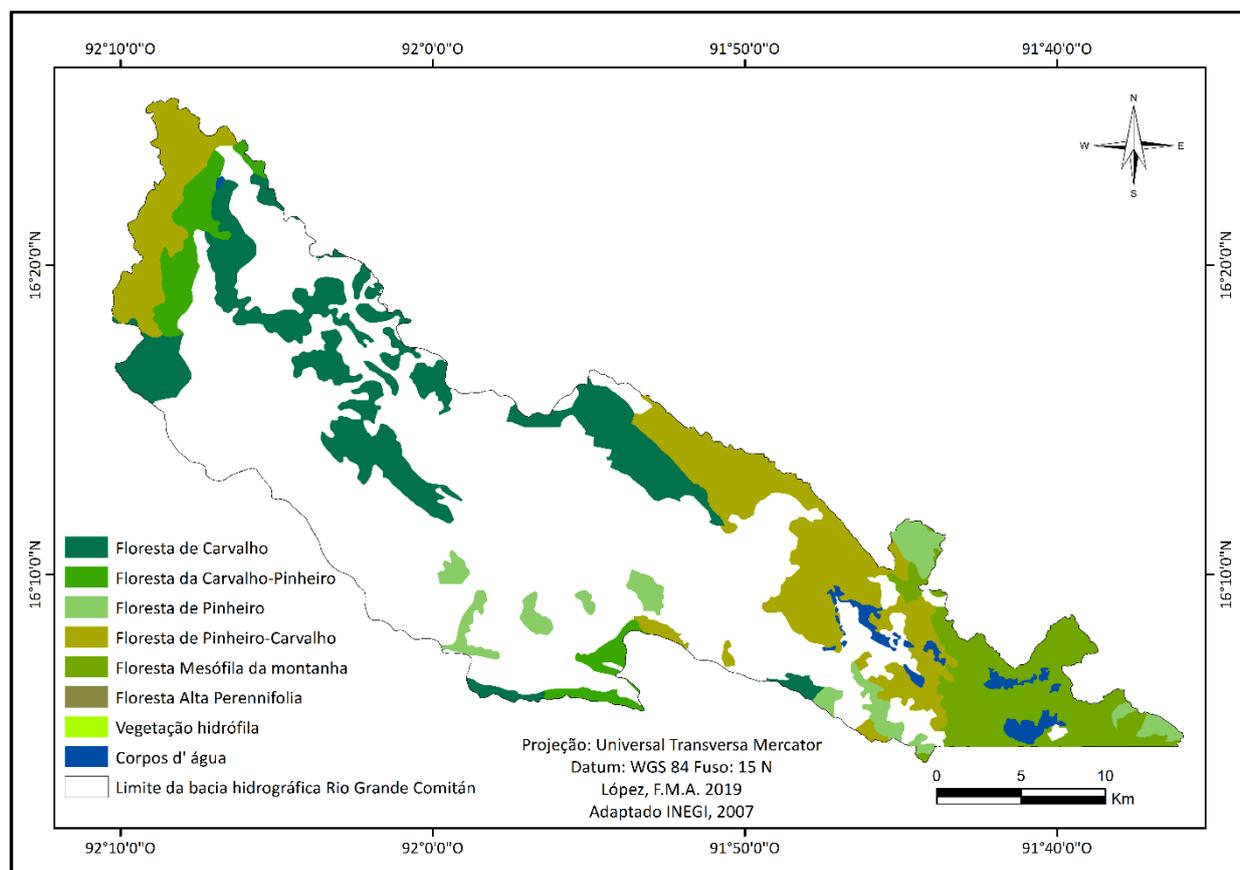


Figura 5. Tipos de fitofisionomias da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México).

### 4.1.3. Edafologia

Os principais grupos de solos da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), de acordo com os dados do INEGI (2010), são (Figura 6):

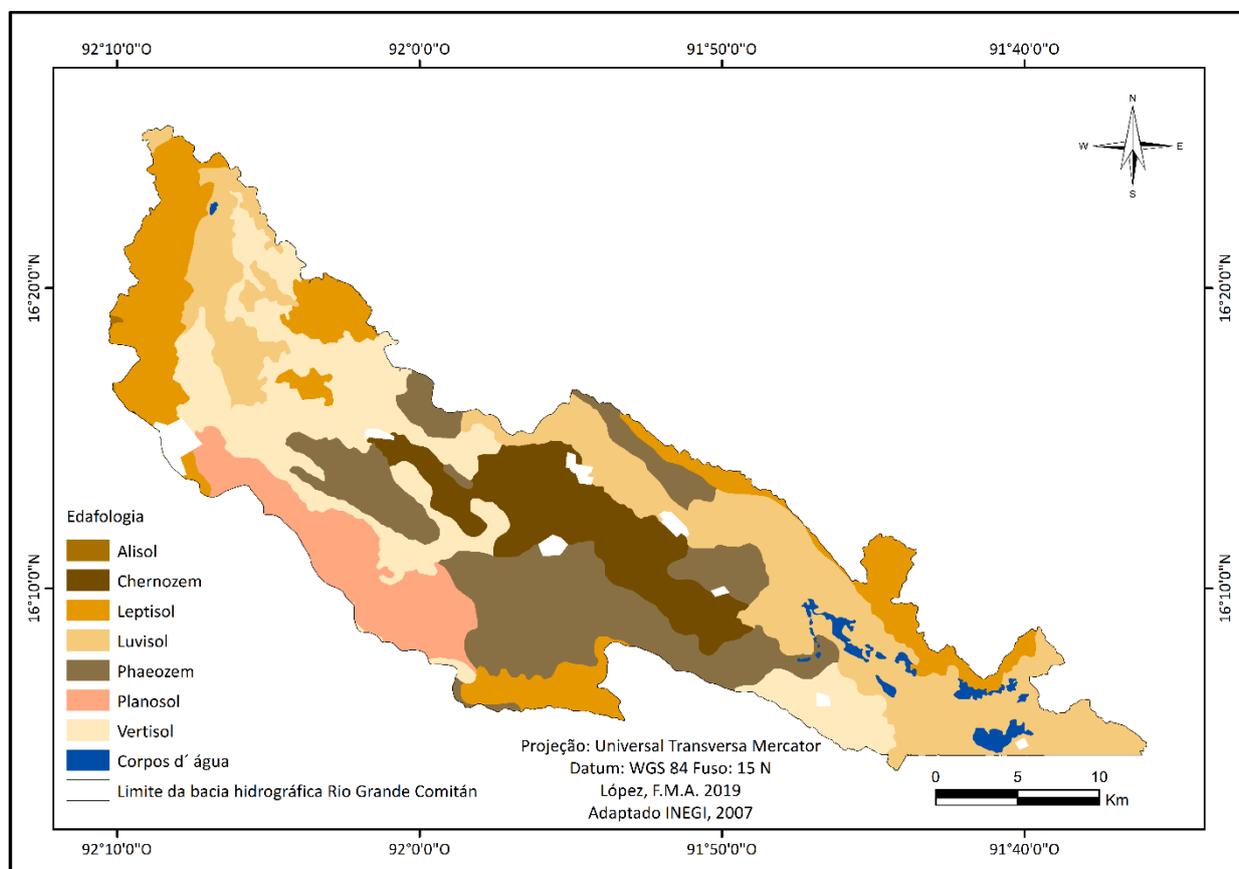


Figura 6. Tipos de grupos de solos da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México).

Alisol – Solos considerados tóxicos pelo alto conteúdo de alumínio, pobres em cálcio, magnésio e potássio; tem maior concentração de argila no subsolo devido ao processo edafogenético. É encontrado em regiões com clima úmido tropical e subtropical e em regiões temperadas úmidas. Em questão de produção agrícola, este tipo de solo permite somente culturas de raízes pouco profundas;

Chernozem – Solos de clima árido ou semiárido, com uma camada superficial grossa, negra ou muito escura e rica em carbono orgânico, férteis em magnésio, potássio e carbonatos no subsolo;

Leptosol – São solos com menos de 25 cm de espessura ou com mais de 80% de seu volume ocupado por pedras ou gravas, suscetíveis à erosão. Geralmente localizados em zonas com 40% de declividade. Os tipos de vegetação presentes são as pastagens naturais desérticas, a floresta baixa caducifólia, e a floresta de montanha;

Luvisol – Solos vermelhos, cinzas ou pardos claros, com maior conteúdo de argila no subsolo superficial. Predominam em terras planas, além de que a maioria dos luvisolos são férteis, e considerados apropriados para usos agrícolas. Encontram-se também em altas declividades demandando medidas de controle de erosão;

Phaeozem – Solos predominantes em climas semi-árido e sub-úmido, com cor superficial parda, às vezes preto, férteis em magnésio, potássio e sem carbonatos no subsolo. Localizam-se, geralmente, em relevo plano ou ligeiramente ondulado;

Planosol – Solos com um horizonte de textura grossa encontrados em terras planas de pastagem. Durante o período de seca apresentam manchas vermelhas. Pouco férteis, com arbustos dispersos e sistemas de raízes rasas;

Vertisol – Solos criados em condições de saturação de seca, com fendas profundas quando se encontram secos e com mais de 30% de argilas expansíveis. São aptos à agricultura devido à alta capacidade de retenção de umidade. No entanto, para serem aproveitados na agricultura é necessário planejamento adequado de drenagem. São estáveis frente à erosão.

#### **4.1.4. Geologia**

A bacia hidrográfica Rio Grande Comitán está ocupada, principalmente, por rochas sedimentares dos tipos calcáreas cretáceas, arenitos e aluvionares (areia, argila, cascalho etc.) provenientes de processos de erosão.

Com base nos dados do INEGI (2010) a área total da bacia hidrográfica apresenta as seguintes unidades geológicas (**Figura 7**):

Aluvial – Formações geológicas caracterizadas por serem planas ou pouco inclinadas;

Calcário – Rocha sedimentar composta na sua maioria por carbonato de cálcio, geralmente calcita;

Lutita – Rocha sedimentar detrítica constituídos por partículas de argila e limolita;

Limolita - Rocha sedimentar granulosa, com partículas menores que o arenito e maiores que a argila;

Arenito – Rocha sedimentar detrítica, de cor variável, a qual contém partículas com textura arenosa.

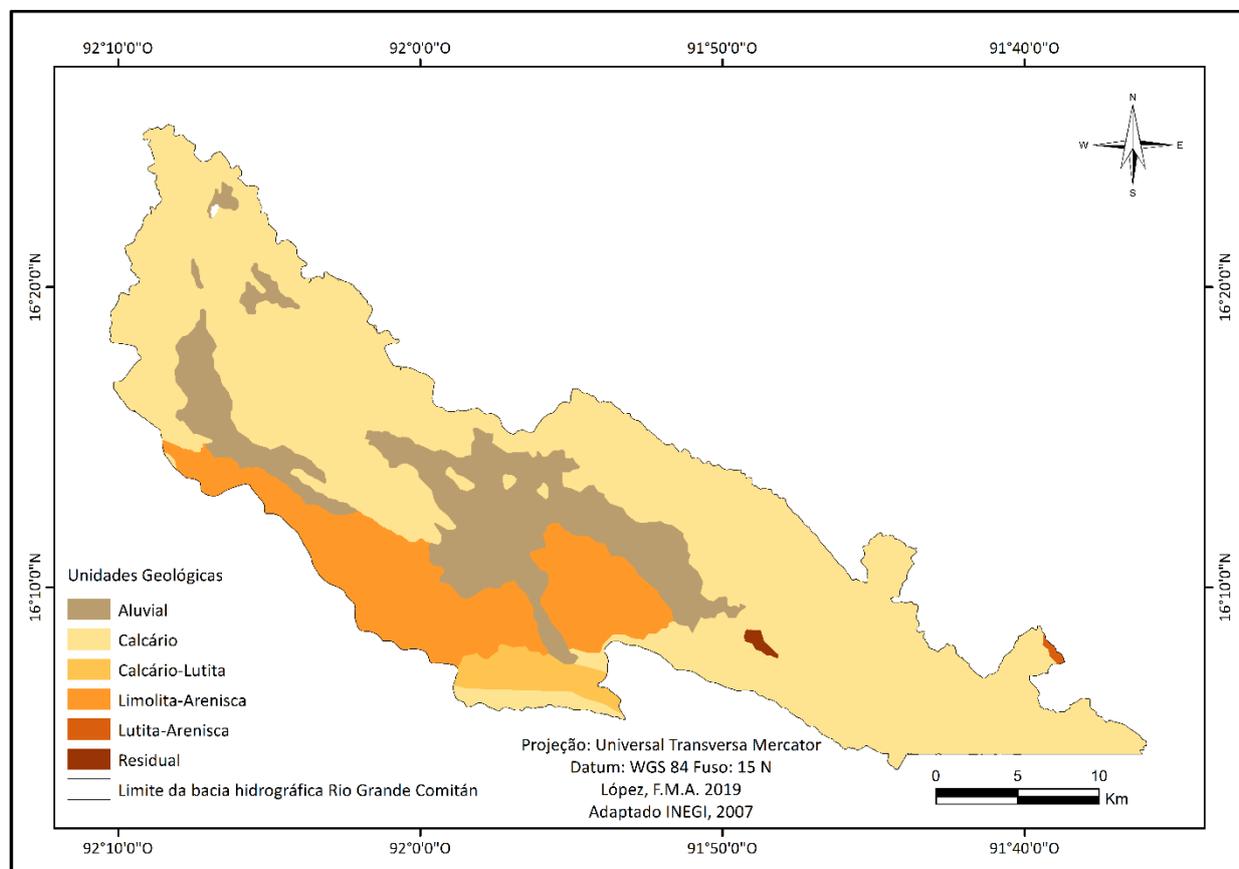


Figura 7. Unidades geológicas da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México).

#### 4.1.5. Hipsometria

A faixa de altitude varia em toda extensão da área da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (INEGI, 2007) (**Figura 8**). As áreas com menor altitude, próximas do Parque Nacional Lagunas de Montebello, apresentam uma altitude média de 1.500m. O nível mínimo de elevação na bacia hidrográfica é de 1.300m, atingindo o valor de 2.400m, nas áreas com maior altitude que correspondem ao município de Comitán (CONAGUA, 2009).

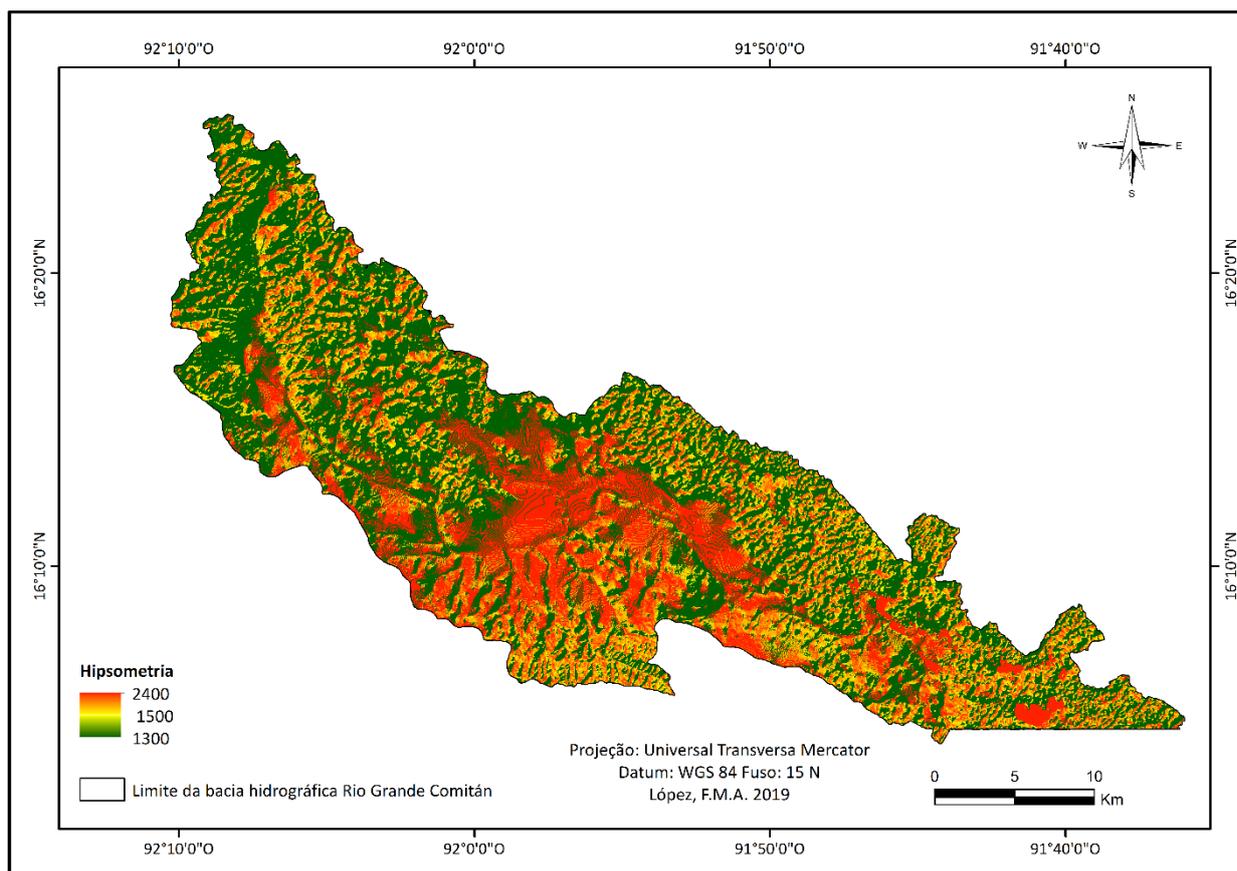


Figura 8. Carta hipsométrica da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México).

## 4.2. Aspectos históricos da dinâmica dos usos da terra

### 4.2.1. Posse e uso da terra no México

Os dados históricos relacionados à questão da posse da terra e da legislação ambiental no México, ao longo do tempo, que constituem alguns dos condicionantes da organização espacial da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, estão, resumidamente, apresentados na **Figura 9**.

A questão da posse e uso da terra no México tem início com a **Revolução Mexicana** (1910-1920)<sup>1</sup>, que teve como luta emblemática a busca pela revalorização da cultura indígena e a reforma

---

<sup>1</sup> A **Revolução Mexicana** foi um conflito armado com início em 20 de novembro de 1910 e término em 01 de junho de 1920, historicamente, descrita como o acontecimento político e social mais importante do século XX no México, contra o governo do General Porfirio Díaz, que permaneceu no exercício do poder por um período de 34 anos. Este movimento armado foi dirigido pelos camponeses Emiliano Zapata e Francisco Villa, com o objetivo de acabar com a ditadura de Porfirio Díaz. Este movimento foi culminado oficialmente com a promulgação da **Constituição do México**

agrária, ou seja, a distribuição de terras entre os camponeses. Essa demanda de terras gerou o início da **revolução** que tinha como lema “**Tierra y Libertad**” (**Figura 9**).

O **Muralismo Mexicano** foi um movimento artístico e político que surgiu na primeira metade do século XX no México, quando também teve início a **Revolução Mexicana** (1910), momento histórico que inspirou diversos artistas a expressar seus pensamentos críticos em uma forma de representação artística, revelando muito do que se tratava a questão da posse e uso da terra no México. Um período crítico em que o povo mexicano manifestou um forte sentimento de compromisso libertário (**Figura 9**). Através do **Movimento Muralista**, a arte mural em grandes dimensões, foi possível chamar a atenção da população mexicana para suas próprias questões, transmitindo uma mensagem de otimismo e solidariedade em relação à sociedade e à humanidade, destacando Diego Rivera (1886-1957), David Alfaro Siqueiros (1896-1974) e José Clemente Orozco (1883-1949), entre os três maiores impulsionadores do movimento.

Em 1935 ocorreu a maior distribuição da quantidade de terras durante a Reforma Agrária, com o desaparecimento dos latifúndios (Flores Rodríguez, 2008 p. 43-44) (**Figura 9**).

A questão da posse e uso da terra no México foi institucionalizada no ano 1971 com a criação da Lei da Reforma Agrária (Diário Oficial da Federação (DOF) de 16/04/1971, Artigo 27), como um instrumento de distribuição dos bens públicos, de justiça social, liberação da população camponesa, e desenvolvimento do país. A propriedade social da terra no México foi estabelecida com a criação

---

(*Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que reforma la del 5 de febrero de 1857*), a atual lei suprema da federação mexicana, outorgada em 5 de Fevereiro de 1917 pela Assembléia Constituinte, convocada por Venustiano Carranza, entrando em vigor no dia 1 de Maio de 1917. Cabe mencionar que esta foi a primeira constituição em reconhecer as garantias sociais e os direitos laborais coletivos (LARTIGUE, 2011). Abaixo estão um conjunto de fotos ilustrando os participantes do conflito armado.



dos “Núcleos Agrários”, configurados nas formas dos *Ejid*os e das Comunidades Agrárias, enquadrados nos ajustes da Lei da Reforma Agrária, consolidando e legitimando a propriedade sobre a terra (**Figura 9**).

Assim, os Núcleos Agrários (*ejidos* e *comunidades agrárias*) constituem a posse da terra que provee a maior produção agropecuária além de ter a maior população rural. As comunidades agrárias têm antecedentes desde a colônia, eram terras outorgadas pelos reis da Espanha aos povos nativos que naquela época eram conhecidos como *exidos*. Com a reforma agrária foram renomeadas como *Comunidades Agrárias*<sup>2</sup>. As principais e únicas diferenças entre *Comunidades Agrárias* é que a Lei proíbe que as zonas parceladas tenham titulares ou que vendam/aluguem suas terras. No caso dos *ejidos*, e pela modificação do Artigo 27 em 1992, é possível ter titulares na zona parcelada vender ou alugar as terras. Ou seja, as áreas comuns dos *ejidos* pertencem a todos e as parcelas a cada indivíduo (SÁNCHEZ e RUIZ, 2016).

Segundo o Artigo 44 da Constituição Mexicana, os Núcleos Agrários estão configurados como: as propriedades para o assentamento humano, as terras de uso comum, e as terras parceladas (**Figura 10**). O Artigo 63 descreve as “Terras para o assentamento humano” como as áreas necessárias para o desenvolvimento da vida comunitária dos *Ejid*os, ou seja, uma zona de urbanização, sendo esta área irreduzível e inalienável. O Artigo 73 define “As terras de uso comum” como as áreas para o sustento econômico da vida comunitária do *Ejido*; enquanto o Artigo 76 define “As terras parceladas” como propriedades dos ejidatários, para o uso e o usufruto das mesmas (**Figura 10**).

---

<sup>2</sup> Com imposição do governo, as comunidades agrárias foram restringidas a alugar ou vender suas próprias terras e ter sua própria forma de organização, pelo que foram obrigados a ter um regime organizativo alheio aos diversos traços e costumes culturais. No caso da organização, as autoridades máximas tanto dos *ejidos* como das *comunidades agrárias* é pela assembleia geral (SÁNCHEZ e RUIZ, 2016).

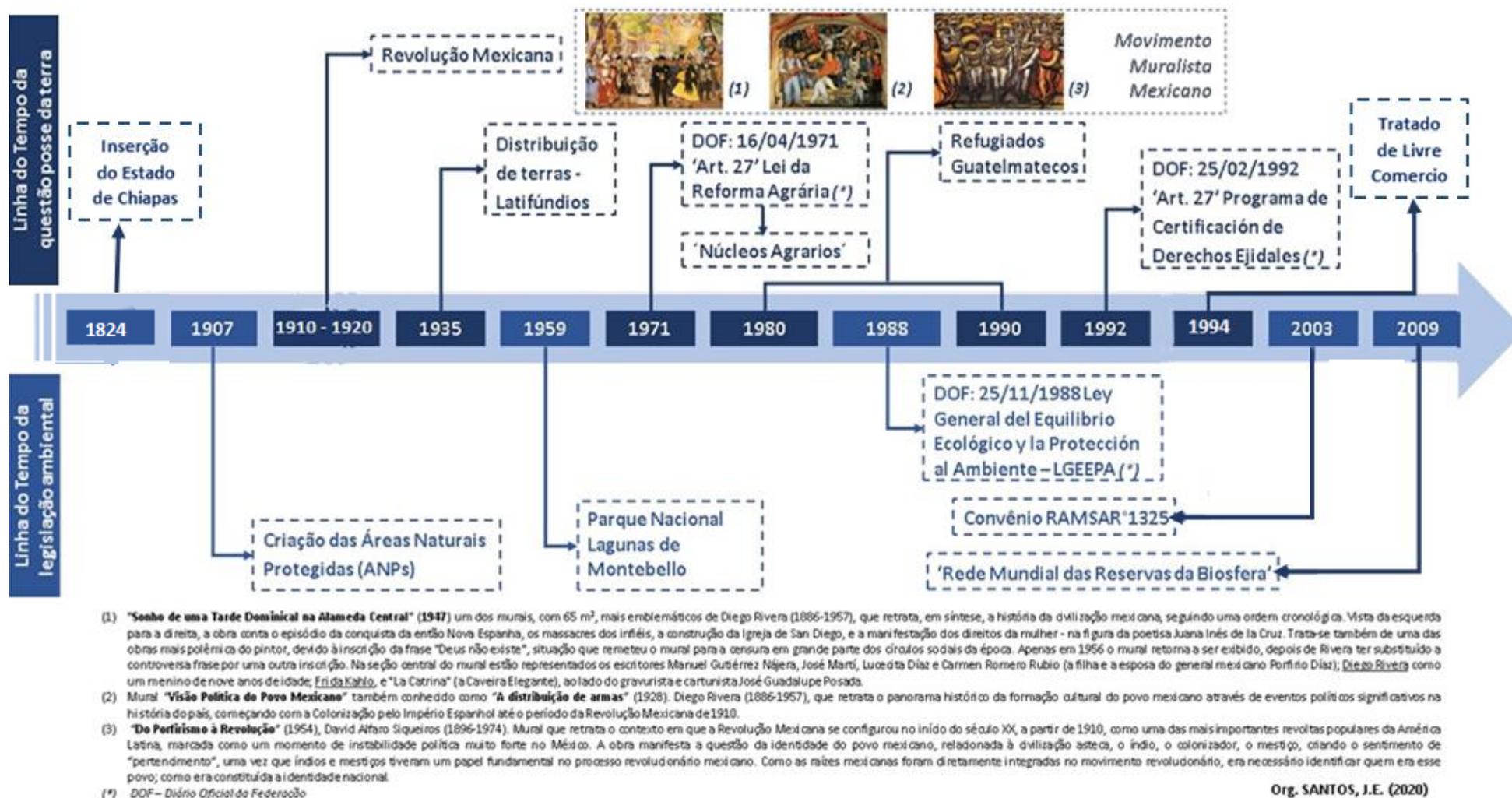


Figura 9. Linha do tempo contemplando aspectos históricos relacionados à questão da posse da terra e da legislação ambiental no México, como fatores condicionantes da organização espacial da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México).

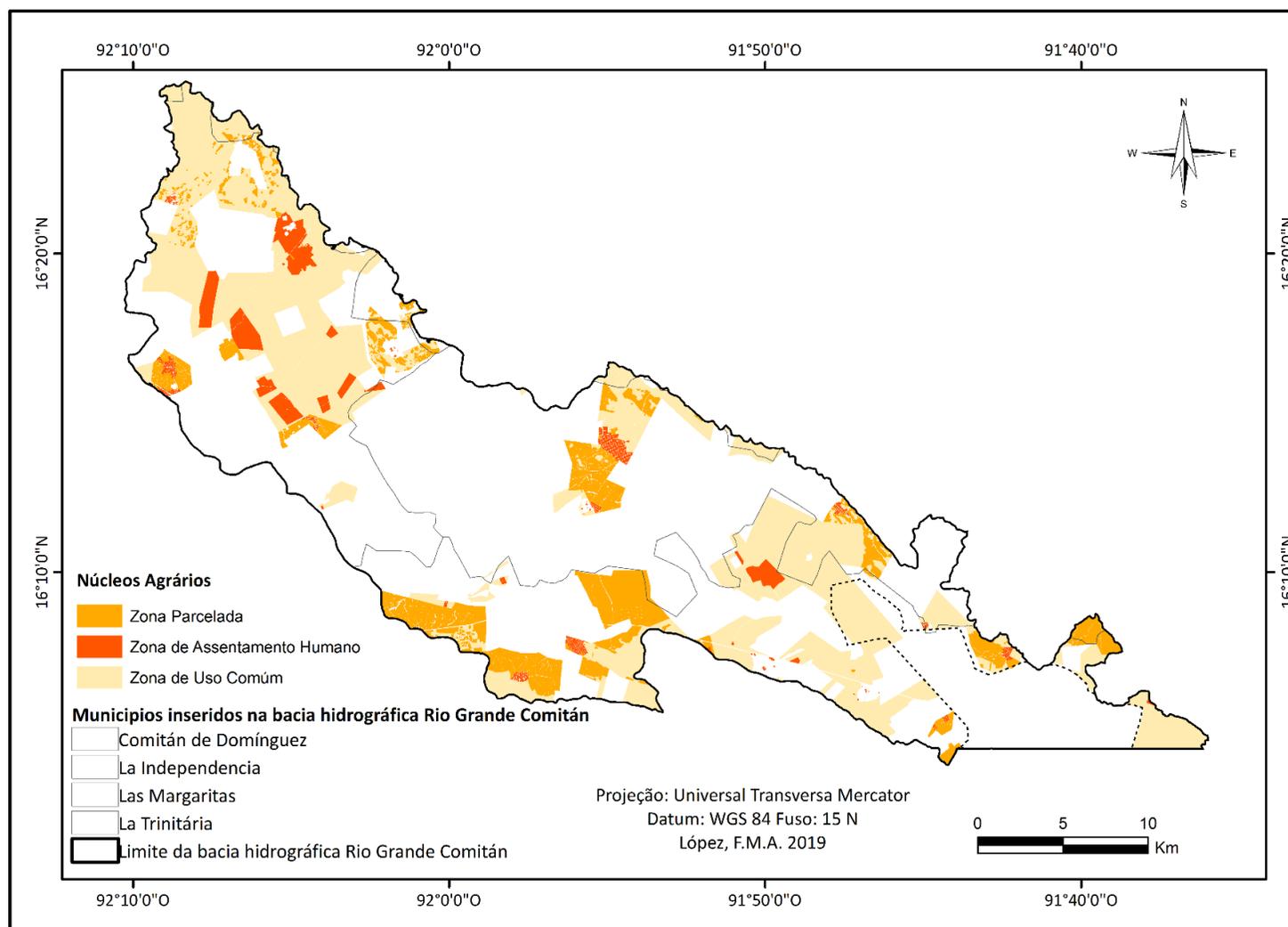


Figura 10. Tipos de zonas definidas no estabelecimento dos Núcleos Agrários e distribuição espacial das mesmas na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, (Chiapas, México).

A diferença entre a natureza do “*ejido*” e da “comunidade” foi efetivamente estabelecida, atribuindo prioridade aos “*ejidos*”, uma vez que a maioria dos mesmos possuíam documentos comprobatórios de seu estado comunal. Desta forma, o *Ejido* corresponde a figura central dos Núcleos Agrários que representam a estrutura agrária social do país (CRUZ, 2017).

Em 1992 com o ‘Programa de Certificación de Derechos Ejidales’ e ‘Titulación de Solares Urbanos’ surge uma modificação que rompe com a estrutura comunitária de posse de terras, (**Figura 9**), remetendo à privatização dos *Ejid*os, possibilitando que pessoas externas aos mesmos consigam arrendar as terras ou usá-las como garantia de empréstimo. Desta maneira, os direitos da posse de terra podem ser transmitidos através de contratos comerciais ou associando-se com mais ejidatários ou investidores externos. Deve ser ressaltado que esta modificação resultou das recomendações do Banco Mundial para eliminar as diferenças entre propriedade privada e social, como também, para inserir a área rural agrícola no Tratado de Livre Comercio (MARTÍNEZ CUERO; GARCÍA RAMÍREZ, 2011).

A ocupação territorial se consolida, em que a posse da terra adquire novas modalidades, como propriedades alienáveis, transmissíveis, embargáveis, divisíveis, em que os *ejidos* perdem seu estado comunal. Esta transição está contextualizada no relato Pérez e Mackinlay (*sic*):

*Las reformas de 1992 a la legislación agraria causaron la metamorfosis del ejido mexicano. A partir de ese momento, éste perdió rasgos jurídicos característicos y dejó de constituir una de las modalidades de la propiedad social (p.25 Pérez & Mackinlay, 2015).*

Em 1994 entra em vigor o Tratado de Livre Comercio de America do Norte (*North American Free Trade Agreement, NAFTA*), sendo um tratado trilateral com a participação de Canadá, Estados Unidos e México. **TLCAN** está relacionado à liberalização comercial, ou seja, a redução das tarifas de importação (TOSONI, 2017). No caso do México houve um aumento de exportação de tomates, goiabas, pimentas e abacates (CALBERG e Rude, 2004). No entanto, há estudos demonstrando que houve um aumento no êxodo rural, perda de soberania alimentar, aumento de pobreza, decréscimo do PIB, comparado ao período que não formava parte do tratado. Estes aspectos são opostos aos objetivos esperados do TLCAN depois de 26 anos (BARDOMIANO, 2016; CASTAÑER e NIETO, 2015; GIRÓN, 2015).

#### 4.2.2. Contextualização histórica do uso e ocupação da terra da área de estudo

No estado de Chiapas, o histórico das políticas agrárias de colonização possibilitou a dispersão da população camponesa às novas localidades denominadas: *Ejidots*. Nas décadas 60 e 70 do século passado, essas localidades se distribuíram de forma desordenada, sobrepondo-se as propriedades comunais e/ou privadas (TOLEDO, 2015).

Chiapas formava parte de Guatemala até 1821, se declarando independentes. Em 1824, os dirigentes chiapanecos optaram pela união a México (OLIVERA, 2008).

Particularmente, o estado de Chiapas teve etapas distintas no marco social e econômico, iniciado pela conquista espanhola nos séculos XVI até XIX, etapa independente à formação do Estado Mexicano. Até o século XIX, a apropriação da terra por parte dos colonos esteve associada à figura da “finca ou fazenda”, por meio do trabalho forçado e na agricultura de subsistência. Toledo (2015, pág. 43) relatou quatro acontecimentos históricos associados a este processo: “1) O estabelecimento da divisão política administrativa no século XIX; 2) A década de 1930, no contexto da reforma agrária mexicana; 3) O período entre os anos de 1980 a 1990 relacionado a migração significativa da população guatemalteca no território chiapaneco (**Figura 9**); 4) O processo da migração centro-americana que teve um incremento significativo na última década” do século passado.

O processo agrário, particularmente, na área do Parque Nacional Lagunas de Montebello, recebeu um fluxo considerável da população camponesa, transformando a configuração espacial da paisagem e as relações sócio-econômicas, passando por dois aspectos históricos: o fracionamento das grandes propriedades familiares pertencentes a oligarquia regional, e o processo de apropriação privada da terra pelos indígenas, no fim do século XIX (ASCENSIO, 2009).

Depois da reforma agrária, na segunda metade do século XX, a região de Montebello passou a configurar assentamentos humanos na forma dos *ejidos*, colônias, e das rancherías. O processo territorial e organizacional da população foi baseado na vinculação e na luta pela terra, sob a influência do Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM), a partir de 1959. Além disso, pelo fato de estarem na divisa com a Guatemala, os habitantes do PNLM vivenciaram dois processos, um dos quais de grande impacto: “o fato de cidadãos guatemaltecos, aproximadamente 45.000

camponeses indígenas, se refugiarem no México, entre o período de 1980 a 1990” (Figura 9). O outro fator importante foi o fluxo de migração para os Estados Unidos (TOLEDO, 2015).

Vários programas governamentais estão, atualmente, disponíveis para o atendimento das comunidades, entre os quais se destacam: Programa de Pensión para Adultos Mayores, Programa de Apoyos Alimentarios do SEDESOL (Secretaria de Desarrollo Social); e PROAGRO da SAGARPA (Secretaria de Agricultura, Ganaderia, Desarrollo Rural, Pesca e Alimentação). No caso de SEMARNART (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) estão disponíveis programas ainda vigentes para os *ejidos* de Antelá, Ojo de Agua e Tzisco. Apesar da importância do PNLM não existe na região o Programa de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) ou mesmo do Pagamento por Serviços Hídricos, como uma alternativa para mitigar o impacto na qualidade da água das Lagunas de Montebello (GARCÍA, 2017).

#### 4.2.3. Áreas Naturais Protegidas

Os esforços para a conservação dos recursos naturais no México, remete a 1907, durante o governo de Porfirio Díaz (Figura 9), e consolidado com o Decreto da Criação das Áreas Naturais Protegidas (ANPs) (CONANP, 2011).

As Áreas Naturais Protegidas do México compreendem extensas superfícies geográficas sobre as quais se estabeleceu protocolos de proteção legal, para resguardar seus valores (principalmente naturais, mas também culturais ou históricos, e que são administradas por uma variedade de autoridades, instituições e agências. Tratam-se de territórios que correspondem ao que é, internacionalmente, conhecido como Área Protegida.

No México existem áreas protegidas vinculadas as esferas: federais, estaduais, municipais, comunitárias, "*ejidais*" (relativas aos *ejidos*) e privadas, todas sob a administração da Comissão Nacional de Áreas Naturais Protegidas (CONANP), respondendo aos governos federal, estaduais e locais (municípios, cidades ou autoridades metropolitanas), coexistindo com as instituições e agências que administram algumas das áreas, dentre as quais:

- Fundo Mexicano para a conservação da Natureza.
- Organização Mexicana para a Conservação do Meio Ambiente.

- Espaços naturais e desenvolvimento sustentável.

O principal sistema de proteção das áreas naturais protegidas do México ocorre na esfera federal, sendo administrado pela agência federal CONANP, abrangendo uma área de 25.394.779ha, equivalente a 12,93 % da superfície terrestre do país ([Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas](http://www.conanp.gob.mx)).[www.conanp.gob.mx](http://www.conanp.gob.mx). Consultado em 7 de fevereiro de 2016).

Para que uma área natural seja considerada parte do sistema federal de proteção mexicano, é necessária sua criação mediante um Decreto Presidencial, acompanhado da descrição das atividades que podem ser realizadas no âmbito da mesma, estabelecida de acordo com a "*Lei Geral do Equilíbrio Ecológico e Proteção ao Ambiente*" (LGEEPA). Esta Lei foi aprovada em 28 de janeiro de 1988, configurando um instrumento para a preservação e restauração do equilíbrio ecológico (**Figura 9**). A LGEEPA regulamenta o manejo das Áreas Naturais Protegidas, como também, ressalta a participação social na construção de consensos. Nesse sentido, o Título Quinto da LGEEPA destina-se a regulação da participação social e o direito de informação ambiental em suas diversas etapas (i.e., planejamento, execução, avaliação e fiscalização da política ambiental e dos recursos naturais), sendo fundamental a participação neste processo dos representantes dos *ejidos*, comunidades e, proprietários de terra (RUIZ et al., 2016).

Similares às existentes em outros países, as Áreas Naturais Protegidas no México encontram-se na LGEEPA, dos artigos 44 ao 56 (DOF, 2013), e na Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, configuradas no sistema federal em 06 (seis) as categorias:

- Reservas da Biosfera (41) (Artigo 48)
- Parques Nacionais (66) (Artigo 50)
- Monumentos Naturais (5) (Artigo 52)
- Áreas de Proteção de Recursos Naturais (8) (Artigo 53)
- Áreas de Proteção de Flora e Fauna (39) (Artigo 54)
- Santuários Naturais (1) (Artigo 55)

Os *Parques Nacionais* constituem áreas que contém um ou mais ecossistemas significativos pela beleza cênica, valor científico, educativo ou recreativo, valor histórico, pela existência de flora e fauna, pela aptidão para o desenvolvimento do turismo, ou por outras razões análogas de

interesse geral. Em dezembro de 2013 estavam registrados 66 Parques Nacionais, no México, administrados pelo CONANP, protegendo uma área total de 1.398.517ha, equivalente a 0,71 % do território do país. Desse número total de Parques, somente, 15 integravam o Sistema Nacional de Áreas Naturais Protegidas (SINAP).

O Parque Nacional Lagunas de Montebello foi criado em 16 de dezembro de 1959 (Diário Oficial de la Federación), (**Figura 9**), e tem como objetivo “Conservar, proteger e restaurar os elementos naturais que compõem os ecossistemas do Parque Nacional Lagunas de Montebello, por meio de atividades que permitam o desenvolvimento sustentável com a participação dos setores governamentais e sociais envolvidos na área, em benefício da sociedade mexicana, estado de Chiapas e, particularmente, dos habitantes locais e da região” (CONAGUA, 2007).

O Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM) encontra-se localizado na região sudeste do Estado de Chiapas, na bacia Rio Grande Comitán, também inserida na parte da bacia hidrográfica do Rio Lacantún na região hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta (CONAGUA, 2009).

O PNLM está inserido nos limites territoriais dos Municípios de La Independencia e de La Trinitaria, além de uma pequena área na divisa entre o México e a Guatemala, com uma extensão total de 6.022 ha, ocupada por superfície terrestre (Floresta de Pinheiros, Floresta de Montanha, vegetação induzida e vegetação ripária), e por águas continentais (cerca de 50 lagoas) (CONANP, 2007).

Em 2003, O PNLM<sup>3</sup> foi categorizado como um “*humedal*”<sup>4</sup> pelo Sitio RAMSAR (nº 1325), (Figura 9), com base nos critérios estabelecidos pela “Convención sobre los Humedales”. Além disso, em 2009, a UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) integrou o PNLM na Rede Mundial de Reservas da Biosfera (Figura 9), (HORVATH et al., 2001; CONANP, 2007; SEMARNAT, 2007; SALAZAR et al., 2009).

O PNLM está enquadrado na Categoria II da International Union for Conservation of Nature (IUCN) com o objetivo da proteção da biodiversidade e os processos ambientais (i.e. manutenção das populações em densidades suficientes para conservar a integridade e a resiliência; na condição mais próxima do estado natural), além da consideração dos povos indígenas, comunidades locais, e o uso de recursos para a subsistência e a contribuição da economia local através do turismo (IUCN, 2020).

O PNLM também é considerado como uma Área de Importância para a Conservação de Aves (AICA), na categoria G-1, com registro da presença de *Dendroica chrysoparia*, catalogada como uma espécie em perigo de extinção a nível mundial, além de duas espécies de aves em perigo de extinção, e 15 em ameaça de extinção.

O local é habitado por grupos étnicos descendentes dos maias e guatemaltecos, tanto nas áreas do entorno, como dentro do Parque Nacional, considerando ainda o registro de Três Zonas

---

<sup>3</sup> Parque Nacional Lagunas de Montebello Número do Site RAMSAR: 1.325 | País: México | Região administrativa: Chiapas Área: 6.022 ha | Coordenadas: 16 ° 06'N 91 ° 43'W | Datas de designação: 27-11-2003. Área Importante de Aves. Um complexo de áreas úmidas e cavernas cársticas de água doce permanente e sazonal na fronteira com a Guatemala, altitude média de 1500m, em meio a florestas que compartilham traços de vegetação tropical e temperada. Comunidades mistas de pinheiro, carvalho e *Liquidambar styraciflua* são dominantes dentro do Parque. Muitas das cavernas são consideradas sagradas pelas comunidades indígenas, que as visitam em peregrinação. Os habitantes locais vivem principalmente da agricultura e do turismo. Os incêndios florestais são cada vez mais comuns: em 1998, 50% do Parque foi queimado. A poluição da água e o turismo não regulamentado também são motivos de preocupação, mas, recentemente, foi concluído um plano de gestão para tratar dessas e de outras questões (CONANP, 2007). O local é relevante por sua biodiversidade, com relatos da ocorrência de 72 espécies de borboletas, cinco espécies de peixes, 15 espécies de anfíbios, 52 espécies de reptéis, 221 espécies de aves e 56 mamíferos. Em relação a vegetação, o PNLM é o habitat de 50 espécies de orquídeas (RAMSAR, 2003).

<sup>4</sup> As áreas úmidas (*Humedales*) de importância internacional, mais conhecidas como Sítios Ramsar, são áreas reconhecidas internacionalmente por esta designação, com base nos critérios estabelecidos na “Convenção Relativa às Áreas Úmidas de Importância Internacional especialmente como Habitat de Aves Aquáticas” (Convenção de Ramsar), um tratado internacional do qual o México participa.

Arqueológicas: Zona Arqueológica Chinkultic, Zona Arqueológica de Tenam Puente, e Zona Arqueológica El Lagartero.

Entre as principais causas que dificultam a operacionalidade das Áreas Protegidas estão as áreas decretadas como propriedade do estado; aproximadamente, 62% da vegetação primária e secundária das Áreas Protegidas está inserida nas propriedades ejidal e/ou comunal (TOLEDO, 2005). A maioria destes assentamentos humanos são marginalizados e dependem dos programas sociais e de crédito rural. Desta maneira, as Áreas Protegidas constituem um campo promissor para o desenvolvimento das capacidades locais, como no caso do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), ou no mercado local de carbono florestal. Por isso, torna-se fundamental a criação de mecanismos de valoração dos serviços ambientais baseados em usuários locais (BUNGUE & REYES, 2015).

Deve ser ressaltado que a Política Ambiental do México é bastante diversificada, pois se encontra amparada na Constituição Política, nas Leis Federais, Estaduais e Municipais. Na esfera da Constituição, a Política Ambiental está presente nos: Artigo 4º - Direito fundamental a um ambiente apropriado para o bem-estar humano; Artigo 25 – cuidado e conservação dos recursos produtivos; Artigo 26 direito a participação social; Artigo 73 - O Congresso tem a faculdade de aprovar leis sobre a proteção ambiental, preservação e restauração do equilíbrio ecológico, e, finalmente, o Artigo 27 – que está relacionado às limitações e às condições de propriedade, como a regulamentação dos recursos naturais e as ações para preservar e restaurar o equilíbrio ecológico (TALIARINE & CORTÉS, 2014).

### 4.3. Dinâmica qualitativa e quantitativa dos usos e cobertura da terra

A área total da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán abrange os limites territoriais dos municípios de La Independencia, Comitán e La Trinitária que compartilham, aproximadamente, a mesma área de extensão (30%) do território da bacia hidrográfica., enquanto que o município de Las Margaritas representa o menor percentual da área total da bacia hidrográfica (**Tabela 2; Figura, 11**). Neste estudo, a extensão da área total da bacia hidrográfica foi obtida do INEGI (2007).

Tabela 2. Valores das áreas totais da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán e dos territórios municipais do estado de Chiapas (México).

Municipios do Estado de Chiapas, México	Áreas (ha) dos municípios inseridas na bacia hidrográfica	Áreas (%) dos municípios inseridas na bacia hidrográfica
La Trinitária	27.290,93	33,70
La Independencia	26.042,00	32,15
Comitán de Domínguez	24.809,85	30,63
Las Margaritas	2.850,52	3,52
<b>Total</b>	<b>80.993,30</b>	<b>100,00</b>

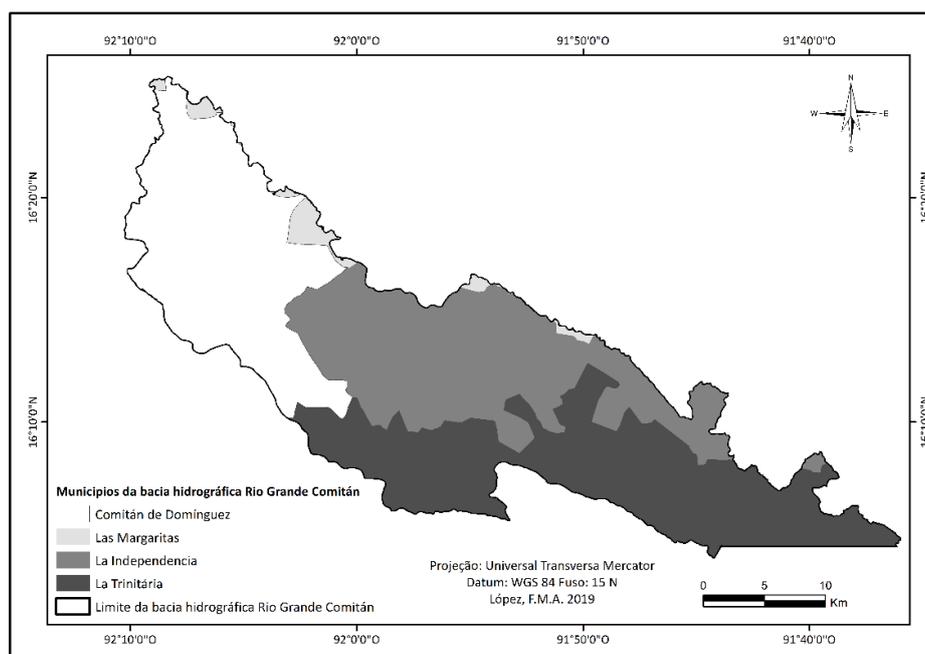


Figura 11. Representação espacial dos limites territoriais dos municípios inseridos nos limites da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México).

O padrão espacial da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México) foi configurado em quatro (04) classes de usos da terra: Natural, Aquático, Antrópico Agrícola, e Antrópico Não-Agrícola, posteriormente, categorizadas em doze (12) tipos de cobertura da terra: vegetação nativa, área úmida, corpos d'água, agricultura, pastagem, solo exposto, área urbana, assentamentos humanos, malha viária, área de mineração, e aeroporto (**Tabela 3**).

Tabela 3. Descrição das classes de usos da terra e dos tipos de cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México).

Classes de usos da terra	Tipos de cobertura da terra	Descrição das tipologias de cobertura da terra
Natural	Vegetação de Pinheiro e Carvalho	Áreas com vegetação arbustiva, arbórea e campestre nativas, Floresta Mesófila de Montanha, Floresta de Pinheiro, Floresta de Carvalho.
	Mata Ripária	Vegetação ripária
	Áreas Úmidas ( <i>Ciénagas</i> )	Áreas com solos naturalmente alagados ou saturados, permanente ou temporariamente, de água, zonas de transição terrestre-aquáticas com fauna e flora típicas.
Aquático	Corpos d'água	Cursos de água e o sistema lacustre representado pelas lagoas do Parque Nacional Lagunas de Montebello
Antrópico Agrícola	Pastagem	Áreas com vegetação herbácea utilizada para pecuária de animais de pequeno, médio e grande porte
	Agricultura	Áreas destinadas ao desenvolvimento de cultivos agrícolas temporário e/ou permanente.
	Solo exposto	Áreas sem cobertura florestal, com solo em preparo e/ou preparadas para o cultivo agrícola.
Antrópico Não-Agrícola	Área Urbanizada	Áreas de uso intensivo estruturadas por edificações com adensamento urbano, infraestruturas industriais e comerciais, áreas de assentamentos rurais ( <i>Ejidros</i> ) relacionados aos Núcleos Agrários.
	Malha Viária	Estradas pavimentadas e/ou sem pavimentação para deslocamento e transporte da população e produtos.
	Mineração	Áreas com atividades de mineração
	Aeroporto	Base Aérea Militar N°. 17 Copalar
	Área Histórico-Cultural	Zona Arqueológica de Chinkultic

As áreas de uso natural foram relacionadas aos tipos de cobertura influenciados por: seres humanos, e capazes de autorregulação, e aquelas alteradas pelas ações antrópicas, com necessidade de gestão. Ambientes aquáticos contemplam as áreas naturais e seminaturais, influenciados por seres humanos, capazes de autorregulação, e alterados por ações antrópicas, com necessidade de gestão ambiental (**Figura 12**). Áreas antrópicas agrícolas contemplam os ambientes intencionalmente criados por seres humanos e totalmente dependentes de manejo e gestão humana. As áreas antrópicas não-agrícolas estão representadas por ambientes intencionalmente criados por seres humanos para atividades industriais, econômicas ou culturais, dependentes da gestão humana sobre os ecossistemas naturais circundantes e intercalados (**Figura 12**).

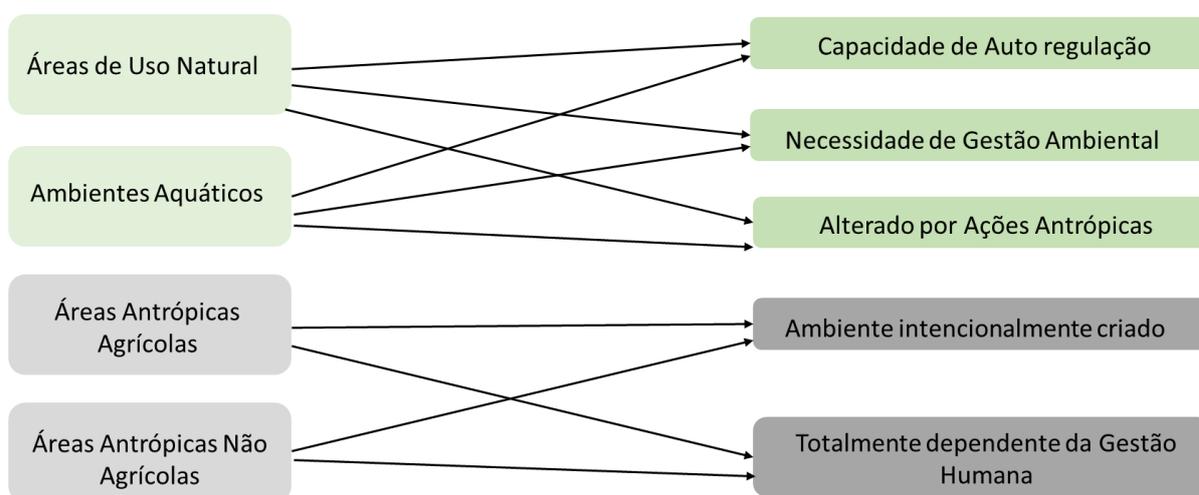
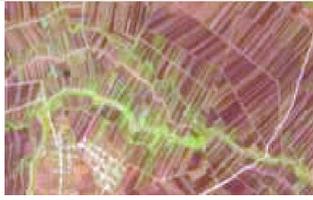
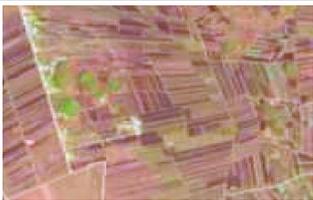


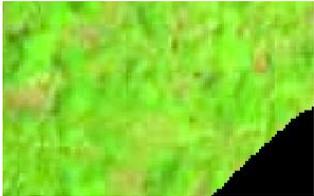
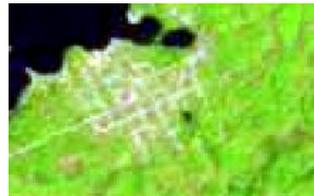
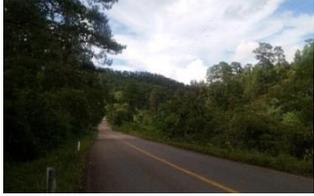
Figura 12. Representação das interações entre as 04 clases de uso segundo sua dependencia de gestão, Capacidade de autoregulação.

Com base nas informações da verdade terrestre foi elaborado um banco de dados dos padrões amostrais dos usos e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (**Quadro 3**)

Quadro 3. Banco de dados representando os registros fotográficos (verdade terrestre) dos tipos de classes de usos da terra, dos tipos de cobertura da terra e local de ocorrência, e imagem LandSat do registro fotográfico para a bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán.

Tipos de classes de usos da terra	Registros fotográficos (verdade terrestre) das classes de uso da terra	Descrição dos tipos de cobertura da	Imagem Landsat dos registros fotográficos
<b>Natural</b>		Floresta de Pinheiro e de Carvalho	
		Floresta de Pinheiro	
		Floresta Mesófila de Montanha	
		Área Úmida.. Pantanal La Ciénega, Municipio Comitán de Domínguez	

Aquático		Corpos d'água Laguna Tziscoa, Parque Nacional Lagunas de Montebello	
		Rio Grande de Comitán	
Antrópico Agrícola		Cultivo de milho	
		Cultivo de tomate	
		Áreas com intensidade média de pastagem na pecuária	

		<p>Sistema agroflorestal (cafezal com sombra) Município La Trinitária</p>	
<p>Antrópico não-agrícola</p>		<p>Área urbana do Município de Comitán de Domínguez</p>	
		<p>Assentamento rural Ejido Tziscoa, Município La Trinitária.</p>	
		<p>Estrada Km 57, Município La Trinitária</p>	
		<p>Zona Arqueológica Chinkultic, Município La Trinitária.</p>	

		<p>Área de mineração (*)</p>	
		<p>Base Aérea Militar N° 17 Copalar (**)</p>	

- \* Fonte: Oscar Casta. Disponível em: <https://lh5.googleusercontent.com/p/AF1QipPDkgTMBXJkhJBbNdmkO-GesI5jE3e2fgK3o8l=w600-h988-p-k-no> Acesso: 11/01/2020.
- \*\* Fonte: Google Maps Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/MMCO/@16.1625687,92.0121732,13458m/data=!3m1!1e3!4m8!1m2!2m1!1sbase+copalar+n17+comitan+chiapas!3m4!1s0x0:0xf2cef350a96c795b!8m2!3d16.1767207!4d-92.0515734?hl=pt-PT> Acesso: 11/01/2020

A trajetória espacial da cobertura da terra, configurada como composição da paisagem, está relacionada com as mudanças na conversão e substituição de um tipo de cobertura da terra por outro, expressando a atuação das atividades desenvolvimentistas na determinação do tipo de uso da terra na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, ao longo do período de 20 anos. Os valores das áreas das classes de uso da terra (natural, aquático, antrópico agrícola e antrópico não-agrícola), e dos 13 tipos de cobertura da terra (**Tabela 4**), apresentaram uma precisão de 86% do coeficiente de Kappa.

A área total da classe de uso natural (vegetação nativa, áreas úmidas e mata ripária) apresentou uma redução, ao redor, de 44 para 29%, entre 1999 a 2009, em contrapartida a expansão do padrão antropogênico, configurado por uma área total de cobertura da terra, agrícola e não agrícola, ao redor de 54 para 68%, no período entre 1999 a 2009. Esta dinâmica possibilitou a continuidade de uma matriz, predominantemente, antrópica (agricultura, solo exposto e pastagem), ao longo do período de 20 anos, com a agricultura como o tipo de cobertura da terra mais representativo, nos anos de 2009 e 2019 (**Tabela 4; Figura 13**).

O maior fragmento da classe de uso natural está representado pelo Parque Nacional Lagunas de Montebello (**Figura 13**), com cobertura vegetal relacionada a Floresta de Pinheiros, Floresta de Montanha, vegetação induzida e vegetação ripária, cuja extensão total de 6.022ha (CONANP, 2007), excede os limites da bacia hidrográfica deste estudo.

A redução das áreas de cobertura florestal com vegetação primária, em relação a área total da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, foi, anteriormente, relatada para os anos de 1975 (43,58%), 1993 (39,14%), e 2000 (29,59%), como consequência da expansão da agricultura temporal (INEGI, 2000). Particularmente, para o ano de 1975, a maior área de ocupação da superfície florestal resultou da presença das florestas de pinheiros e decidual de montanha, principalmente, nas regiões de maior e menor declividade da bacia hidrográfica, bem como, das florestas mesófilas no Parque Nacional Lagunas de Montebello (INEGI, 2000).

Estes relatos denotam uma característica de regiões em que os fatores sócio-econômicos influenciam profundamente as mudanças de cobertura da terra (MELENDEZ-PASTOR et al., 2014), característico de regiões com gradientes acentuados de declividade como o da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (**Figura 13**).

Áreas úmidas apresentaram uma redução gradativa e contínua nos valores de áreas ocupadas, entre o período de 1999 a 2019 (**Tabela 4**). No âmbito da Convenção de Ramsar e da “Ley de Aguas Nacionales” são zonas de transição entre os sistemas aquáticos e terrestres, temporal ou permanentemente, inundadas, reguladas por fatores climáticos, e dotados de alta biodiversidade. As áreas úmidas limítrofes ao município Comitán de Domínguez são comumente designadas de “*La Ciénaga*”, como uma zona lacustre que interage com o sistema lacustre inserido no Parque Nacional Lagunas de Montebello.

A *Ciénaga* vêm sendo submetidas às influências dos assentamentos rurais, desde o século XX, resultante de impactos nos diversos processos ecológicos deste sistema ambiental (i.e., remoção de remanescentes da vegetação original, queimada da pastagem para preparação dos ciclos agrícolas, aterro sanitário clandestino, poluição de solos, rios, e a pressão urbana). Em 2018, foi relatado que apenas 200 ha de *Ciénaga* estão destinados à conservação (IMPLAN, 2018).

Outro aspecto interessante associado à redução da área total da classe de uso natural, foi a remoção gradual da mata ripária (**Tabela 4**), principalmente, devido a expansão relacionada às práticas agrícolas desenvolvidas nos assentamentos rurais, como às relatadas, por exemplo, nos *Ejidos* San José, Emiliano Zapata e Venustiano Carranza (VELÁZQUEZ, 2017). Em contrapartida, foi relatado que as populações dos *Ejidos* Juznajib la Laguna, Los Laureles, San Isidro Tinajab, e Los Riegos, no período entre 2005 – 2007, passaram a participar, ativamente, na restauração da cobertura vegetal, como também do desenvolvimento de atividades para a prevenção de incêndios, com a supervisão e atuação conjunta do instituto CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) (CONAGUA, 2007).

Tabela 4. Valores das áreas (ha / %) dos tipos de usos e cobertura da terra da bacia hidrográfica Rio Grande Comitán. (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1999, 2009, e 2019).

Classes de usos e cobertura da terra	Tipos de uso e cobertura da terra	1999		2009		2019	
		Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Natural	Vegetação de carvalho e pinheiro	33.362,54	41,20	27.347,69	33,76	22.743,70	28,09
	Mata ripária	2.165,19	2,70	1.451,89	1,80	860,40	1,06
	Áreas úmidas ( <i>Ciénagas</i> )	216,00	0,30	170,02	0,20	188,91	0,23
<b>Sub-total</b>		<b>35.743,73</b>	<b>44,20</b>	<b>28.969,60</b>	<b>35,76</b>	<b>23.793,01</b>	<b>29,38</b>
Aquático	Corpos d'água	1.054,10	1,30	1.262,57	1,55	1.319,99	1,63
<b>Sub-total</b>		<b>1.054,10</b>	<b>1,30</b>	<b>1.262,57</b>	<b>1,55</b>	<b>1.319,99</b>	<b>1,63</b>
Antrópico Agrícola	Agricultura	15.876,79	19,60	37.831,37	46,70	38.533,83	47,58
	Solo exposto	19.660,57	24,30	3.566,74	4,40	7.691,68	9,50
	Pastagem	2.060,90	2,50	2.196,31	2,71	1.224,05	1,51
<b>Sub-total</b>		<b>37.598,26</b>	<b>46,40</b>	<b>43.594,42</b>	<b>53,81</b>	<b>47.449,56</b>	<b>58,58</b>
Antrópico Não-Agrícola	Assentamentos rurais ( <i>Ejid</i> os)	3.513,63	4,32	3.939,54	4,86	4.278,78	5,28
	Área urbanizada	917,31	1,10	989,34	1,22	1.768,04	2,18
	Malha viária	2.067,46	2,55	2.099,90	2,60	2.190,68	2,70
	Mineração	27,48	0,03	63,13	0,10	91,38	0,11
	Base Aérea nº 17 Copalar	55,33	0,10	58,80	0,10	85,86	0,11
	Zona Arqueológica Chinkultic	16,00	0,00	16,00	0,00	16,00	0,00
<b>Sub-total</b>		<b>6.597,21</b>	<b>8,10</b>	<b>7.166,71</b>	<b>8,88</b>	<b>8.430,74</b>	<b>10,41</b>
<b>Total</b>		<b>80.993,30</b>	<b>100,00</b>	<b>80.993,30</b>	<b>100,00</b>	<b>80.993,30</b>	<b>100,00</b>

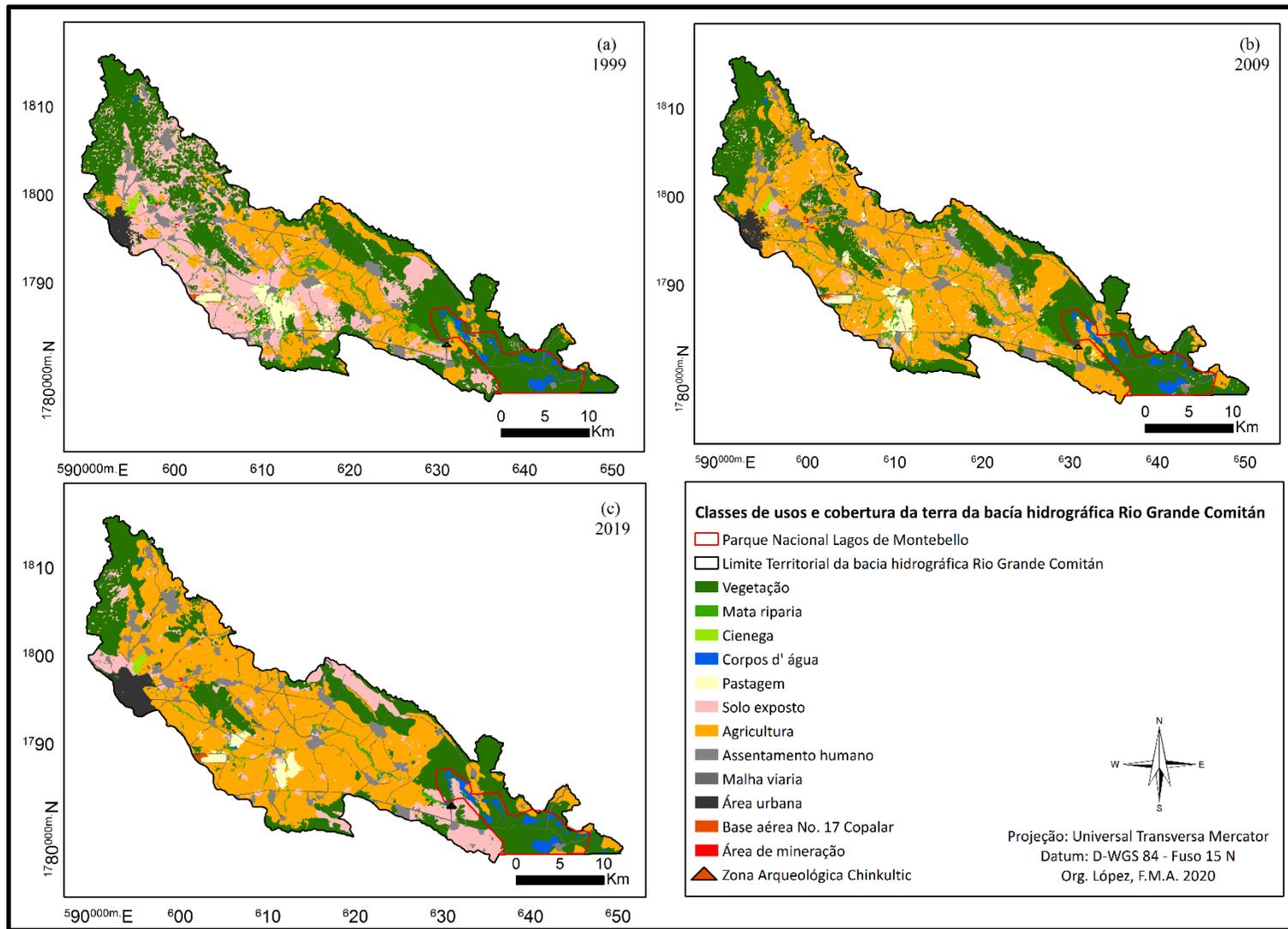


Figura 13. Representação espacial dos tipos de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1999, 2009, e 2019).

A mudança dos valores das áreas dos ambientes aquáticos, ao longo de 20 anos (1999 - 2019) (**Tabela 4**), está relacionada aos cursos d'água e ao sistema lacustre do Parque Nacional Lagunas de Montebello, cuja qualidade da água vem sendo alterada pelas atividades de desmatamento e perda de solo, particularmente, devido à ocupação territorial no entorno dos corpos de água (**Figura 14**). Diversos estudos foram realizados com o objetivo de identificar as fontes primárias de contaminação dos corpos de água<sup>5</sup> (CONAGUA, 2009).

Em 1989 foi relatada a redução da capacidade de resiliência das Lagunas de Montebello frente às mudanças na coloração das águas. Em 2003 foi relatada a emissão de odor de enxofre pelas águas dos lagos Vuelta de Agua e Bosque Azul, devido as altas concentrações de sulfatos, decorrente da ação de fertilizantes nitrogenados, fosfatados e sulfatados lixiviados e infiltrados no aquífero, ocasionando a mortandade de peixes (CFE, 2012; OLEA, 2015).



Figura 14. Fotografias aéreas das Lagunas La Encantada (A) e Balantetic (B) evidenciando alteração da coloração da água resultante da contaminação por atividades antrópicas do entorno. Fonte: María del Rosario Bonifaz Alfonzo (2016).

---

<sup>5</sup> Com apoio do CONACyT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologia) (167603) foi desenvolvido o “Estudio hidrológico y de calidad del agua del sistema lagunar de Montebello” (Estudo hidrológico e da qualidade da água do sistema de lagos de Montebello) pelo Instituto de Geología da Universidad Nacional Autónoma de México, bem como o estudo realizado pela CFE (Comisión Federal de Electricidad) “Estudio para conocer la calidad de agua de las Lagunas de Montebello, Chiapas, Tomo I, Hidrometeorología” (Estudo para conhecer a qualidades da água dos lagos de Montebello, Chiapas, Volumem I, Hidrometereologia” Reporte Técnico.

Ao longo do período de 20 anos, pode ser observada uma tendência na expansão do padrão antropogênico da bacia hidrográfica, devido ao aumento nos valores das áreas antrópica, agrícola e não-agrícola, principalmente, na região central da bacia hidrográfica, ocupando, em 2019, cerca de 68% da área total da mesma, em contrapartida à redução das áreas de vegetação nativa e das áreas de pastagens relacionadas à pecuária. Áreas com usos antrópicos agrícolas (agricultura, solo exposto, e pastagem) ocuparam cerca de 57 % da área total da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, ao longo do período de 20 anos (**Tabela 4, Figura 13**).

A trajetória e a expansão da agricultura estão relacionadas ao contexto histórico do processo de colonização e ocupação regional, constituindo um vetor direto de mudanças da composição espacial da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, resultando em uma paisagem fortemente alterada.

A redução nas áreas de pastagens para alimentação de animais, ao longo do período de 1999 a 2019 (**Tabela 4; Figura 13**), está relacionada com a expansão das áreas com cultivos agrícolas anuais (milho, tomate, café e abacate). Este processo tem sido observado, particularmente, nos assentamentos humanos com o abandono da pecuária para a produção agrícola associada ao cultivo de tomate. Outra característica marcante das áreas de pastagem é a presença de exemplares isolados da vegetação nativa e pequenos fragmentos, inseridos na matriz pecuária.

As práticas agrícolas na bacia hidrográfica destacam-se pelo uso de agroquímicos. Na produção de milho os principais produtos utilizados são os herbicidas. No cultivo de tomate tem sido aplicado uma quantidade maior de insumos por meio da irrigação, entre os quais se destacam os fertilizantes foliares, os fertilizantes solúveis, praguicidas, fungicidas e herbicidas. Anualmente, são obtidos três ciclos de colheitas em estufas com capacidade para 3.700 plantas (CFE, 2000).

A área total de usos antrópicos não-agrícolas (área urbana, malha viária e de assentamentos rurais) na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, ao longo do período de 20 anos (1999-2019), aumentou em função: *a*) da ampliação da malha viária para atender o deslocamento e o transporte de pessoas e materiais (**Tabela 4**); *b*) do aumento da área urbana de Comitán de Domínguez, principal núcleo urbano da bacia hidrográfica (**Tabela 4, Figura 13**), bem como, *c*) do aumento das áreas dos assentamentos rurais (*Ejid*os) (**Tabela 4, Figura 13**), principalmente, daqueles envolvidos

nas práticas agrícolas de agricultura de subsistência, e da extração de madeira de forma sustentável, entre outras atividades.

A Base Aérea Militar N°17 Copalar (**Figura 13**) não apresentou mudança em sua área de ocupação, ao longo do período de 20 anos (**Tabela 4**). Está localizada em San Antonio Copalar, no município de Comitán de Domínguez. Anteriormente, foi utilizada como o aeroporto civil da cidade de Comitán de Domínguez, iniciando suas atividades operacionais em 2000, sob a administração dos Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), com uma pista de aterrissagem de 1,80 Km. Devido à pouca demanda de usuários as atividades de aviação civil foram encerradas em 2004, sendo então transformado na Base Aérea No.17 Copalar.

A área de mineração, inserida no município de Comitán de Domínguez (**Figura 13**), encontra-se operacionalmente ativa para a extração de calcáreo e argila na produção de tijolos, com alteração não significativa da sua área de ocupação, ao longo do período de 20 anos (**Tabela 4**).

A zona arqueológica de Chinkultic (**Figura 15A e B**) compreende uma área de 16ha (**Tabela 4**), administrada pelo Instituto Nacional de Antropologia e História (INAH). Esta zona arqueológica ocupou parte da fazenda de Tepancoapan. Vestígios arqueológicos da civilização maia também foram identificados na área do PNLM, na ilha do lago Tzisco, e nas fazendas de Yalmutz, Tepancoapan e Ojo de Água (CONANP, 2007).

O termo *Chinkultic* deriva das palavras *Chen* ‘caverna’, e *Koeltic* ‘descensos’, que na língua *Tojolabal* significa ‘*nuestro pequeno monte*’. Este sítio arqueológico (**Figuras 15A e B**), ocupa parte das *Tierras Altas Mayas*<sup>6</sup> que inclui a maioria dos sítios arqueológicos da região, datados do final do período *Clásico tardio* (cronologia: 50 a.C. a 1200 d.C.). Este sítio arqueológico representativo da arquitetura Maya, aproveitou as características topográficas locais na construção de cenários para atividades religiosas, atos comemorativos, ou para atividades comerciais ou de lazer onde se realizava, inclusive, o *Juego de Pelotas*, além da presença reservatórios de água considerados sagrados (**Figura 15B**).

---

<sup>6</sup> As *Tierras Altas Mayas* têm uma extensão total de 350.000 km do sudeste mexicano nos estados de Chiapas, Yucatán, Campeche, Quintana Roo e Tabasco, além dos países de Belize, Guatemala, a região noroeste de Honduras e de El Salvador, caracterizada pela maior biodiversidade da América Central. Esta área cultural se desenvolveu nos períodos: Pré-clássico (1800 a.C. – 200 d.C.), Clássico (200 d. C.- 900 d.C.), e no Pós-clássico (900 d.C. 1524).

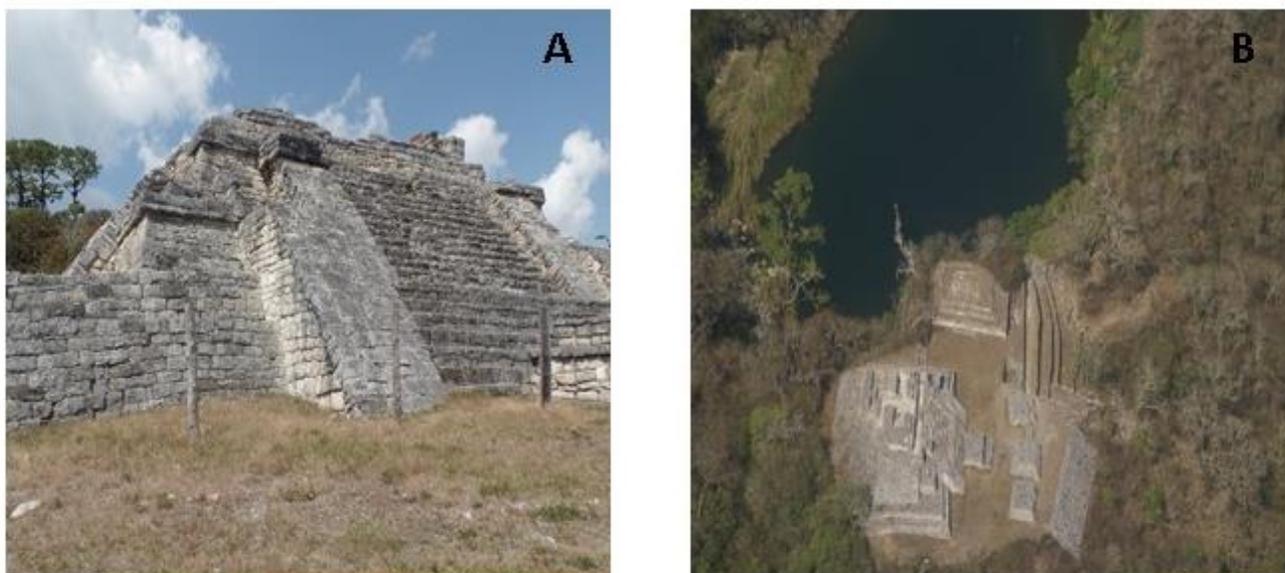


Figura 15. Fotos da Zona Arqueológica Chinkultic. A) Pirâmide de cerimônias religiosas, e B) Zona Arqueológica e na parte superior da mesma o lago Balantetic.

A estrutura conhecida como “*Plaza baja*” abriga os “*cenotes*”<sup>7</sup> que são locais sagrados para os maias contemporâneos, assim como o foram para os seus ancestrais (**Figuras 15A e B**). Para sua construção tiveram que implantar terraços, nivelar a declividade e preencher as depressões. Estas estruturas tinham como finalidade o “culto aos deuses”, principalmente, representados pelo Sol e pela Água. Em 1976 foram resgatados vestígios arqueológicos do fundo do “*cenote*”, como oferendas dedicadas a Água, e no centro da praça vestígios decorativos dedicados ao Sol.

O percentual, ao redor de, 29% da área total de cobertura natural, em 2019, em relação a área total da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (**Tabela 4**), aponta um valor, ligeiramente, inferior ao limiar crítico de 30% de áreas naturais, para assegurar o equilíbrio entre a conservação

<sup>7</sup> Os maias davam grande importância aos “*cenotes*” (ou “*Dzonot*”, que na língua Maia significa “*buraco no solo ou poço*”), por abrigar uma fonte de água. Segundo a tradição, a água desses poços é considerada “virgem ou pura” já que não é tocada pela luz. O aspecto religioso é primordial para compreender o valor dos “*cenotes*” para essa cultura milenar, constituindo-se em cenários para as cerimônias religiosas. E aqueles que eram utilizados na prática de rituais não podiam ser utilizados para o abastecimento de água. O Instituto Nacional de Antropologia e História (INAH) relata, ainda, que o desgaste do solo produzido pela água da chuva, criou uma rede de canais subterrâneos através da qual a água acumulada fluía para o mar. A rede de rios subterrâneos que foram se diluindo para a rocha mãe, deu origem a cavidades chamadas de grutas, quando estão secas, e de “*cenotes*” se estão inundadas pela água que corre no subsolo. A península de Yucatán tem sido considerada como uma planície calcárea caracterizada pela total ausência de cursos de água superficiais. Porém, essa região é considerada rica em água no subsolo, sendo os “*cenotes*” o acesso a essa água invisível, conectados a túneis mais profundos. (Instituto Nacional de Antropologia e História INAH).

da biodiversidade e o desenvolvimento de fatores econômicos em uma paisagem biocultural (SANTOS et al., 2015). Paisagens com cobertura florestal abaixo deste limiar têm apresentado processos de isolamento de habitats, perda de espécies endêmicas, perda da integridade de comunidades, e da integridade filogenética, além da perda das funções ecológicas que apenas espécies especialistas florestais proveem (ANDRÉN, 1994; BANKS-LEITE et al., 2014).

Independentemente, do valor do limiar crítico considerado, a quantidade de cobertura natural tem sido considerada um indicador da naturalidade, contribuindo para a manutenção da biodiversidade local e regional. A manutenção do capital natural na forma de vegetação nativa tem possibilitado mais benefícios econômicos, do que aqueles obtidos diretamente da conversão de áreas de vegetação nativa em áreas agrícolas (DE GROOT, 2013).

Com base no mapa perceptual, resultado do PCA, (**Figura 16**), pode-se observar que o primeiro componente explica 94,40% da variabilidade dos dados, enquanto que o segundo explica 5,60%. Pode ser considerado que o mapa perceptual bidimensional está adequado para avaliar as relações entre as variáveis (tipos de classes de usos da terra e anos (1999, 2009 e 2019)), uma vez que explica grande parte da variabilidade dos dados.

No mapa perceptual (**Figura 16**) torna-se evidente que a atividade antrópica aumenta com relação à redução da área ocupada pelo componente natural, ao longo do período de 20 anos. O ano 1999 se opõe em relação aos outros anos, 2009 e 2019, os quais apontam o aumento da classe antrópica agrícola, enquanto que a classe antrópica não-agrícola evidencia um comportamento independente em relação aos anos. Os resultados atestam diferenças estatisticamente significativas entre os tipos de classes de cobertura da terra, validando a hipótese de mudança e avanço da antropização da bacia hidrográfica, ao longo do período de 20 anos (1999 – 2019). Basicamente, resultante da mudança sequencial Natural » Antrópica Agrícola / Antrópica Não-Agrícola, ao longo do período de 20 anos.

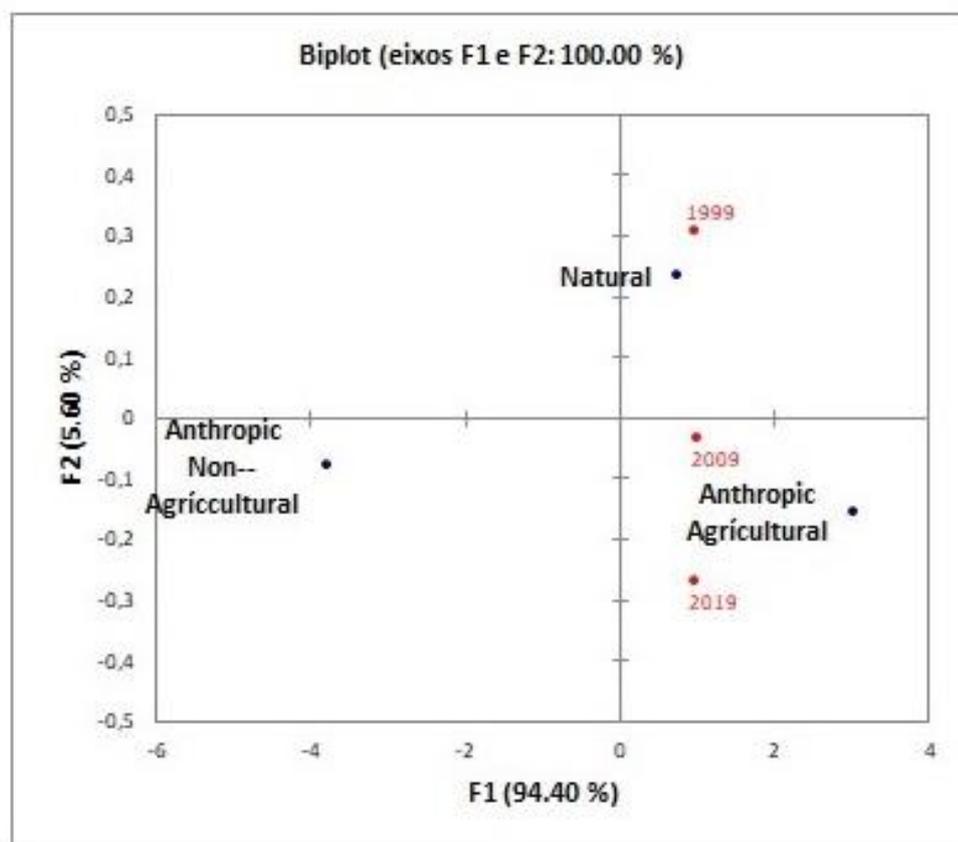


Figura 16. Mapa perceptual bidimensional, resultado do PCA, apresentando os percentuais de variabilidade para os componentes F1 e F2, como adequado para avaliar as relações entre as classes de usos da terra (Natural, Antrópico Agrícola e Antrópico Não-Agrícola) e anos (1999, 2009 e 2019).

#### 4.4. Identificação e avaliação dos níveis de hemerobia da bacia Rio Grande Comitán

Com base no agrupamento dos sete (07) níveis de hemerobia, relacionados às influências dos tipos de usos da terra na biodiversidade (RÜDISSER et al., 2012), também utilizados em ALMEIDA et al. (2018), foram propostos 05 (cinco) níveis de hemerobia (Próximo ao Natural, Alterado, Cultural, Artificial, e Artificial com poucos elementos naturais), para os limites da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (**Quadro 4**). Não foram identificados dois tipos de níveis de hemerobia entre os sete graus de naturalidade relacionados à paisagem, conforme descrito em RÜDISSER et al., (2012), e, similarmente, em ALMEIDA et al. (2018).

Como uma característica de padrão antropogênico, os cinco níveis de hemerobia identificados para a bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, abrangeram desde os sistemas naturais, com influência antrópica, até os sistemas completamente artificiais, relacionadas às áreas urbanas e industrializadas, entretanto, com um padrão de usos da terra bastante diferenciado em

relação aos estudos, anteriormente, considerados (RÜDISSER et al., 2012; ALMEIDA et al., 2018).

Os diferentes tipos de vegetação nativa na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (i.e., Floresta mesófila de montanha, Florestas de pinheiro e de carvalho, mata ripária (**Figura, 17A e B**), área úmidas (*Ciénagas*), e corpos d'água (rios e lagunas) foram categorizados na condição de hemerobia “Próximo ao Natural”, devido à ubiquidade e proximidade das atividades antrópicas agrícolas e não-agrícolas em relação aos mesmos.



Figura 17. Fotos correspondentes à mata ripária da bacia hidrográfica Rio Grande Comitán, ubicada na região central da bacia no município de La Independencia.

As áreas categorizadas no nível de hemerobia “Alterado”, foram identificadas como áreas de pastagens para pecuária animal.

O nível de hemerobia “Cultural” incluiu os tipos de cobertura da terra relacionados aos cultivos agrícolas e solo exposto.

As áreas com usos antrópico não-agrícola foram categorizadas nos níveis de hemerobia “Artificial” e “Artificial com elementos naturais”, correspondentes as áreas urbana e de malha viária, e as áreas ocupadas por assentamentos rurais com registros agrários (*Ejid*os), mineração, e aeroporto, respectivamente.

Os valores das áreas (ha e %) dos 05 (cinco) níveis de hemerobia para a bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, ao longo do período de 20 anos, estão representados na **Tabela 5**.

A redução dos valores totais das áreas dos níveis de hemerobia Próximo ao Natural (vegetação nativa e corpos de água), em 1999 (45,43%), 2009 (37,32 %), e 2019 (31,0%), e Alterado

(pastagens), em 1999 (2,54%) e 2019 (1,51%), resultou do aumento das áreas dos níveis de hemerobia Artificial (área urbana e malha viária), Artificial com Elementos Naturais (assentamentos rurais, mineração e aeroporto) e, particularmente, do Cultural (agricultura e solo exposto) (**Tabela 5**).

Quadro 4. Níveis de hemerobia identificados para a bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán com base nos graus de naturalidade e dos tipos de usos da terra que influenciam a biodiversidade, comparativamente aos descritos em Rüdissler et al., (2012) e em Almeida et al., (2018).

Graus de naturalidade (RÜDISSER et al., 2012)	Descrição (RÜDISSER et al., 2012)	Tipos de uso da terra na Áustria (RÜDISSER et al., 2012)	Tipos de uso no entorno da Floresta Nacional de Irati (ALMEIDA et al., 2018)	Tipos de usos da terra observados neste estudo (Lopez F.M.A. 2020)
1. Natural	Sistemas naturais com pouca ou nenhuma influencias antropogênica (e.g. Poluição global)	Rocha nua, áreas de vegetação escassa, glaciares e neve perpétua, pântanos interiores, turfeiras; florestas naturais.	Vegetação Herbácea	*
2. Próximo ao natural	A estrutura e o tipo do ecossistema solo similares às observadas no ecossistema natural, embora a composição em espécies de plantas pode ser alterada por influências antropogênicas.	Prados naturais (acima da linha de madeira), charnecas, corpos d'água; florestas geridas de forma sustentável.	Floresta de Araucária e corpos de água.	Floresta mesófila de montanha, Floresta de pinheiro e de carvalho, mata ripária, áreas úmidas ( <i>Ciénegas</i> ) e corpos d'água.
3. Semi-natural	O ecossistema natural nac. está mais presente, tendo sido transformado em um novo tipo devido às atividades antropogênicas.	Prados alpinos substituindo florestas, pastagens e pousios.	ii	*
4. Alterado	Além do ecossistema alterado, o solo é regularmente perturbado por atividades antropogênicas (por exemplo, drenagem, deslocamento regular, fertilização intensa).	Vinhedos, pastagens intensivamente usadas na pecuária, plantação de floresta de energia.	Silvicultura.	Pastagens para pecuária animal
5. Cultural	Impactos intensos e regulares levam à de gradação do solo natural. Elementos florísticos naturais reduzidos ao mínimo (<2596 de cobertura).	Terras aráveis, áreas urbanas verdes, instalações esportivas e de lazer.	Atividades agrícolas em pequenas propriedades.	Cultivo agrícola e solo exposto
			Atividades agrícolas em médias e grandes propriedades.	
6. Artificial com elementos naturais	Sistemas artificiais com elementos naturais; mudanças, intensivas e/ou irreversíveis, do terreno e da estrutura da paisagem; selagem do solo até elementos naturais sob a forma de biótopos secundários.	Assentamentos rurais, locais de extracto mineral, áreas de deposição de lixo, aeroportos.	•	Assentamentos rurais ( <i>ejidos</i> ), extração mineral e aeroporto
7. Artificial	Sistemas ou estruturas artificiais, impermeabilidade do solo acima de 3096.	Malha urbana contínua, unidades industriais ou comerciais, malha rodoviária e ferroviária.	Áreas urbanas e malha viária.	Área urbana e malha viária

(\*) Não identificados

A somatória dos valores totais das áreas (%) dos níveis de hemerobia Cultural e Artificial / Artificial com Elementos Naturais, com alteração, aproximadamente, de 52,03%, em 1999, para 67,49%, em 2019, (**Tabela 5**), configurou a impressão de uma matriz, predominantemente,

antrópica, apontando a expansão e a tendência deste padrão antropogênico na bacia hidrográfica (**Figura 14**), ao longo do período de 20 anos (1999 - 2019).

Tabela 5. Valores das áreas (ha e %) dos níveis de hemerobia da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1999, 2009, 2019).

Níveis de Hemerobia	1999		2009		2019	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Alterado	2.060,90	2,54	2.196,31	2,71	1.224,05	1,51
Artificial	2.984,77	3,70	3.089,24	3,81	3.958,72	4,90
Artificial com elementos naturais	3.612,44	4,46	4.077,47	5,03	4.472,02	5,52
Cultural	35.537,36	43,87	41.398,11	51,13	46.225,51	57,07
Próximo ao Natural	36.797,83	45,43	30.232,17	37,32	25.113,00	31,00
<b>Total</b>	<b>80.993,30</b>	<b>100,00</b>	<b>80.993,30</b>	<b>100,00</b>	<b>80.993,30</b>	<b>100,00</b>

**Alterado:** Pastagem.

**Artificial:** Área urbana e malha viária.

**Artificial com elementos naturais:** Assentamentos rurais (*Ejid*os), área de mineração, e aeroporto.

**Cultural:** Agricultura e solo exposto.

**Próximo ao Natural:** Floresta de montanha, Floresta de pinheiro e de carvalho, mata ripária, áreas úmidas (*Ciénagas*), e corpos de água.

A dinâmica espacial dos níveis de hemerobia possibilitou inferir sobre o comprometimento da sustentabilidade da bacia hidrográfica, com base na redução da condição da naturalidade, configurada pelo declínio de 15%, aproximadamente, ao longo do período de 20 anos, das áreas do nível de hemerobia Próximo ao Natural, para um valor remanescente de 31% da área total da bacia hidrográfica, em 2019 (**Tabela 5; Figura 18**).

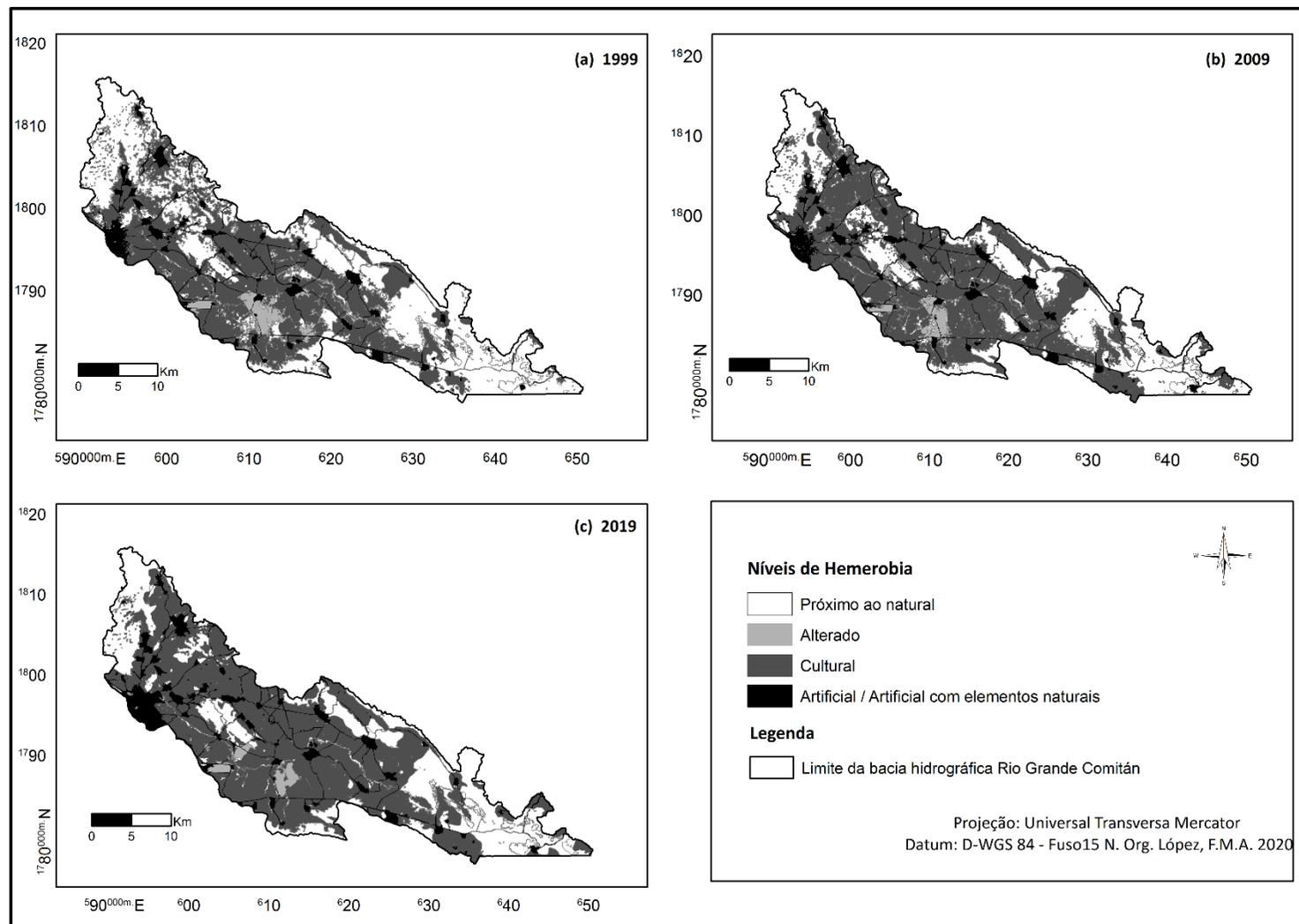


Figura 18. Representação espacial do processo de antropização com base na dinâmica dos níveis de hemerobia Próximo ao Natural, Alterado, Cultural, Artificial / Artificial com elementos naturais, na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México). ao longo do período de 20 anos (1999, 2009, 2019).

Com base no mapa perceptual (**Figura 19**), pode ser evidenciado que o primeiro componente explica 97,03% da variabilidade dos dados, enquanto que o segundo explica 2,96%. Pode ser considerado que o mapa perceptual bidimensional está adequado para avaliar as relações entre os níveis de hemerobia e anos (1999, 2009 e 2019), uma vez que explica grande parte da variabilidade dos dados. O mapa perceptual (**Figura 19**) torna evidente que a expansão do processo de antropização resulta, principalmente, do aumento do nível de hemerobia Cultural, em oposição à redução da área ocupada pelo nível de hemerobia Próximo ao Natural, ao longo do período de 20 anos. O ano 1999 se opõe em relação aos outros anos de 2009 e 2019. Os anos de 2009 e 2019 apontam a expansão do uso da antrópico agrícola, enquanto que os níveis de hemerobia Alterado, Artificial e Artificial com elementos naturais evidenciam um comportamento independente em relação aos anos. Os resultados atestam diferenças significativas entre os valores de áreas dos níveis de hemerobia, suportando a hipótese do avanço da antropização da bacia hidrográfica, ao longo do período de 20 anos (1999 – 2019).

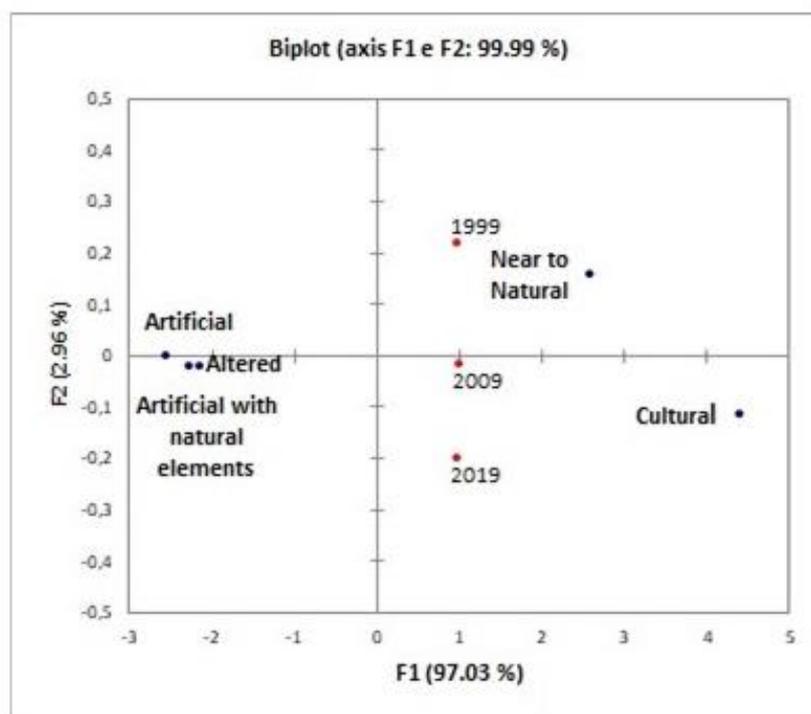


Figura 19. Mapa perceptual bidimensional, resultado do PCA, apresentou os percentuais de variabilidade para os componentes F1 e F2, como adequado para avaliar as relações entre os níveis de hemerobia (Próximo ao Natural, Cultural, Alterado, Artificial, e Artificial com elementos naturais) e anos (1999, 2009 e 2019).

A trajetória espacial da antropização da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, quando analisada com base nas frações dos territórios municipais nela inseridos, evidenciou um gradiente do comprometimento antrópico em relação aos mesmos, ao longo do período de 20 anos (**Figura 20**). Particularmente, para os municípios de La Independencia, La Trinitária e Comitán de Domínguez que apresentam, aproximadamente, o mesmo percentual (ao redor de 30%) de área de extensão inserida na bacia hidrográfica. O município de Las Margaritas não foi considerado nesta análise em função de possuir uma fração mínima de área inserida na bacia hidrográfica (**Tabela 6**).

O grau de comprometimento antrópico de cada território municipal foi justificado com base na mudança de área dos níveis de hemerobia (Próximo ao Natural, Alterado, Cultural, Artificial e Artificial com elementos naturais), representado pelo conflito entre as atividades de uso e de conservação. Remete à identificação e quantificação dos espaços de produção e de conservação nos territórios municipais, que nas condições reais configuram-se como espaços em que os componentes naturais e antrópicos, convivem em ambiguidade, formando as paisagens culturais. Esse cenário é bastante peculiar aos assentamentos rurais (*Ejid*os), distribuídos em número e localização variada para os três territórios municipais, em que o estoque de vegetação nativa se contrapõe ao cultivo agrícola, à criação de gado, e à exploração da madeira

O território do município de Comitán de Domínguez foi o que apresentou a maior expansão das atividades antrópicas, agrícolas e não-agrícolas, em contrapartida, a maior perda de área (39%) de vegetação nativa, relacionada ao nível de hemerobia Próximo ao Natural, no período de 1999 – 2019. A redução da Naturalidade deste território municipal resultou no aumento de 18% da área de cultivo agrícola, agregado ao aumento de 21% da área urbanizada, respectivamente, relacionadas aos níveis de hemerobia Cultural e Artificial / Artificial com elementos Naturais, no período de 1999 – 2019 (**Figura 20a**; **Tabela 6**). A intensificação dos valores da área urbanizada resultou, particularmente, da expansão da área urbana de Comitán de Domínguez, bem como, da área de 16 assentamentos rurais (*Ejid*os) (**Tabela 7**), interatuantes com o território (**Figura 22**), com alteração no número total de habitantes entre 8.244 a 10.497 habitantes (**Figura 21**), no período de 1999 – 2010.

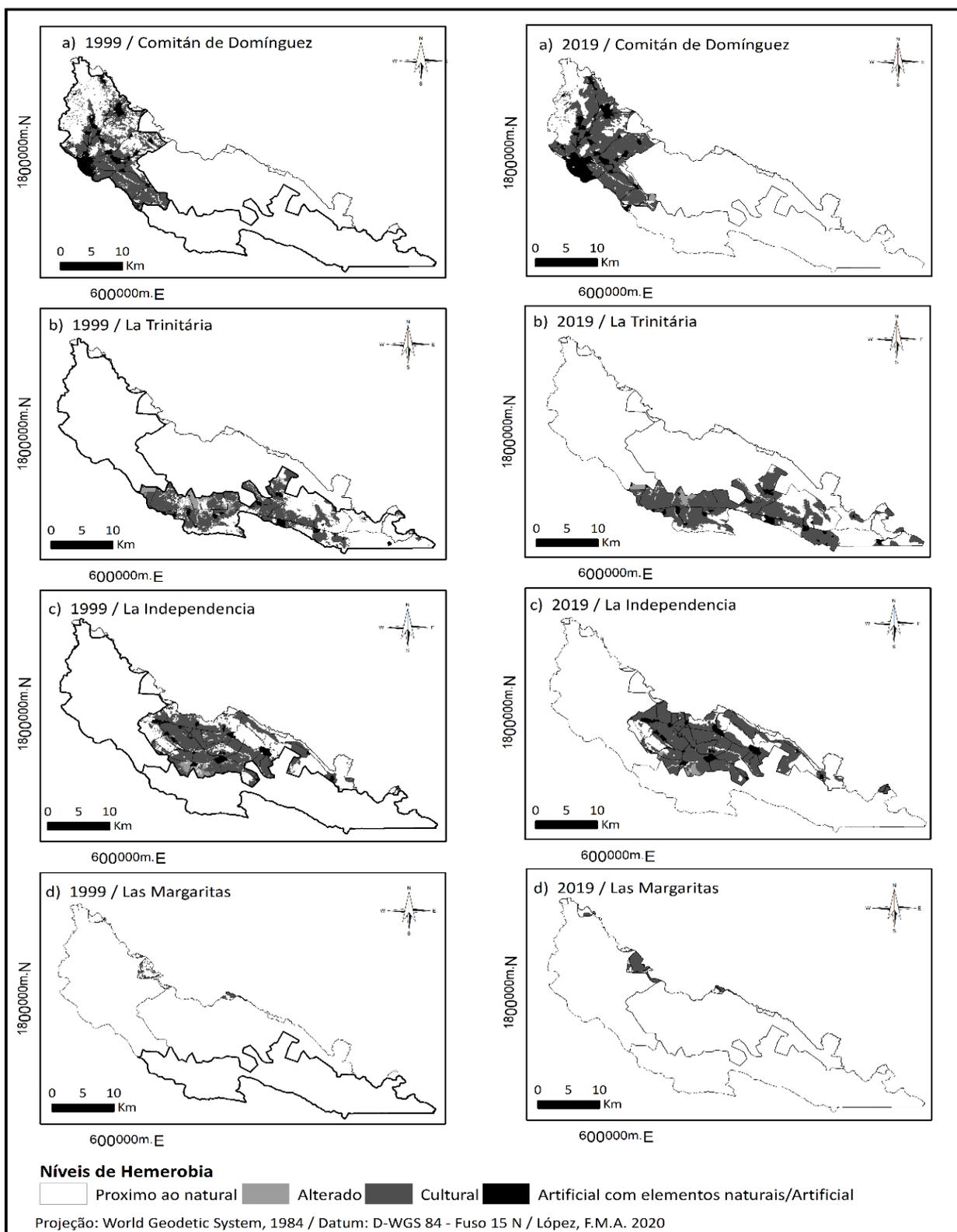


Figura 20. Representação espacial da dinâmica dos níveis de hemerobia Próximo ao Natural, Alterado, Cultural, Artificial / Artificial com elementos naturais, para os territórios municipais de Comitán de Domínguez, La Trinitária, La Independencia, e Las Margaritas, inseridos na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1999 - 2019).

Tabela 6. Valores das áreas (ha) ocupadas pelos os níveis de hemerobia Próximo ao Natural, Alterado, Cultural, Artificial / Artificial com elementos naturais, ao longo do período de 20 anos (1999 - 2019), para os limites territoriais dos municípios La Independencia, La Trinitária, Comitán de Domínguez e Las Margaritas, inseridos na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México).

Municípios	Áreas (ha) dos municípios na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán	Áreas (ha) dos municípios na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán	Área (ha) do nível de hemerobia							
			Próximo ao natural		Alterado		Cultural		Artificial e Artificial com	
			1999	2019	1999	2019	1999	2019	1999	2019
La Trinitária	27.290,93	33,70	13.489,09	10.310,78	1.173,58	435,49	11.099,59	14.787,32	1.533,67	1.757,32
La Independencia	26.042,00	32,15	9.819,45	7.046,64	758,09	408,24	13.433,84	16.242,68	2.030,61	2.344,42
Comitán de Domínguez	24.809,85	30,63	11.271,60	6.923,62	129,24	380,29	10.447,97	13.266,79	2.961,05	4.239,22
Las Margaritas	2.850,52	3,52	2.222,92	831,94	—	—	555,69	1.929,28	71,91	89,27
<b>Total</b>	<b>80.993,30</b>	<b>100,00</b>	<b>36.798,06</b>	<b>25.112,98</b>	<b>2.060,91</b>	<b>1.224,02</b>	<b>35.537,09</b>	<b>46.226,07</b>	<b>6.597,24</b>	<b>8.430,23</b>

A área territorial do município de La Trinitária apresentou a menor condição de comprometimento antrópico (Figura 18b), com a menor perda de área (24%) de vegetação nativa, relacionada ao nível de hemerobia Próximo ao Natural, no período de 1999 – 2019 (Tabela 6). O menor declínio da Naturalidade pode ser justificado pela presença do Parque Nacional Lagunas de Montebello, inserido no referido território municipal, considerado o maior fragmento de vegetação nativa na área total da bacia hidrográfica.

Embora o território municipal de La Trinitária tenha apresentado a maior área de vegetação nativa, em relação aos demais municípios, em 2019 (Tabela 6), foi também o que apresentou a maior expansão de área (25%) de cultivo agrícola, agregada ao aumento de 13% da área urbanizada, respectivamente, relacionadas aos níveis de hemerobia Cultural e Artificial / Artificial com elementos Naturais, no período de 1999 – 2019 (Figura 20b; Tabela 6).

A intensificação dos valores da área urbanizada, no período de 1999 – 2019, resultou, particularmente, da influência de 24 assentamentos rurais (*Ejid*os) (Tabela 7), interatuantes com o território (Figura 22), com alteração no número total de habitantes entre 15.682 a 17.204 habitantes (Figura 21), no período de 1999 – 2010.

Na região sudeste do município de La Trinitária, limítrofe ao Parque Nacional Lagunas de Montebello (Figura 22), encontram-se os *Ejid*os Antelá, Miguel Hidalgo e Ocotál Ojo de Agua (Tabela 7), que se dedicam, principalmente, as atividades turísticas no Parque Nacional, como também na agricultura de subsistência, especificamente o *Ejido* Lazaro Cárdenas (CONAGUA, 2005; GARCÍA,

2017). O *Ejido* Tziscoa é o único assentamento inserido na área interna do Parque Nacional (**Figura 22**).

A região do extremo-sudeste do município de La Trinitária, limite com a República da Guatemala, foi, tradicionalmente, habitada pelos grupos étnicos Chujes, Cakchikeles e k'anjobales, enquanto que a região mexicana foi, unicamente, habitada pela etnia Tojolabal. Atualmente, estão presentes os grupos étnicos Tojolabal e Chuj, este último originário da Guatemala devido a conflitos interétnicos, e assentados no ano 1983, após a criação da colônia Tziscoa.

Toledo (2015) descreveu o ciclo produtivo em um dos *Ejid*os, localizado na área de entorno das Lagunas de Montebello, que utiliza a “roza, tumba e quemada”<sup>8</sup>, como técnicas agrícolas, desde os tempos pré-hispânicos, consideradas como uma das mais importantes formas de subsistência nas comunidades rurais do sul do México. No entanto, esta prática é considerada de alto risco devido à queimada e ao desmatamento da cobertura vegetal). A partir da revolução verde houve mudanças nas práticas agrícolas tradicionais fazendo uso de insumos externos nos agroecossistemas, ou seja agroquímicos (herbicidas e fertilizantes). Foi relatada a redução na ocorrência de queimadas, embora as práticas tradicionais do *cultivo da milpa* (produção de milho), estejam associadas à derrubada de árvores de 3 até 6 anos de idade, com a queima no primeiro ano e, posteriormente, o uso de agroquímicos (CONANP, 2007).

As atividades agrícolas, mesmo para o autoconsumo, e turísticas, no entorno e no âmbito do Parque Nacional, evidenciam a continuidade e a intensificação da interferência antrópica com relação a perda e degradação do estoque de capital natural que assegura a condição da conservação da biodiversidade e da sustentabilidade ambiental da área de entorno do mesmo.

A área territorial do município de La Independencia apresentou uma posição intermediária com relação ao gradiente de comprometimento antrópico, em relação aos demais municípios (**Figura 20c**), com um declínio de 29% área de vegetação nativa, relacionada ao nível de hemerobia Próximo ao Natural, no período de 1999 – 2019 (**Tabela 6**). A perda da Naturalidade do território municipal resultou, em contrapartida, no aumento de 18% da área de cultivo agrícola, agregado ao

---

<sup>8</sup> Esta técnica consiste no uso de fontes de energia natural, como primerio passo é a capina. tirando toda vegetação lenhosa ou maleza (Roza) corte das árvores (Tumba), os galhos das árvores são cortados e posteriormente queimados dentro do local (Quema). Esta pratica milenar dos mayas é a que menos altera o agroecossistema em comparação às praticas da agricultura moderna (PONCE et al., 2012; EASTMOND e FAUST, 2006).

aumento de 14% da área urbanizada, respectivamente, relacionados aos níveis de hemerobia Cultural e Artificial / Artificial com elementos Naturais, no período de 1999 – 2019 (**Figura 20c; Tabela 6**).

O território municipal de La Independencia apresentou o maior número (26) de assentamentos rurais (*Ejid*os) (**Tabela 7**), e o maior número de habitantes, variando de 17.669 a 19.890, no período de 1990 – 2010 (**Figura 21**). Os *Ejid*os El Porvenir, El Triunfo, Emiliano Zapata e Venustiano Carranza (**Tabela 7**), localizados na porção média do território municipal (**Figura 22**), dedicam-se à agricultura intensiva com a produção de uma variedade híbrida de tomate vermelho, como também, à agricultura temporal para autoconsumo de milho, feijão e hortaliças.

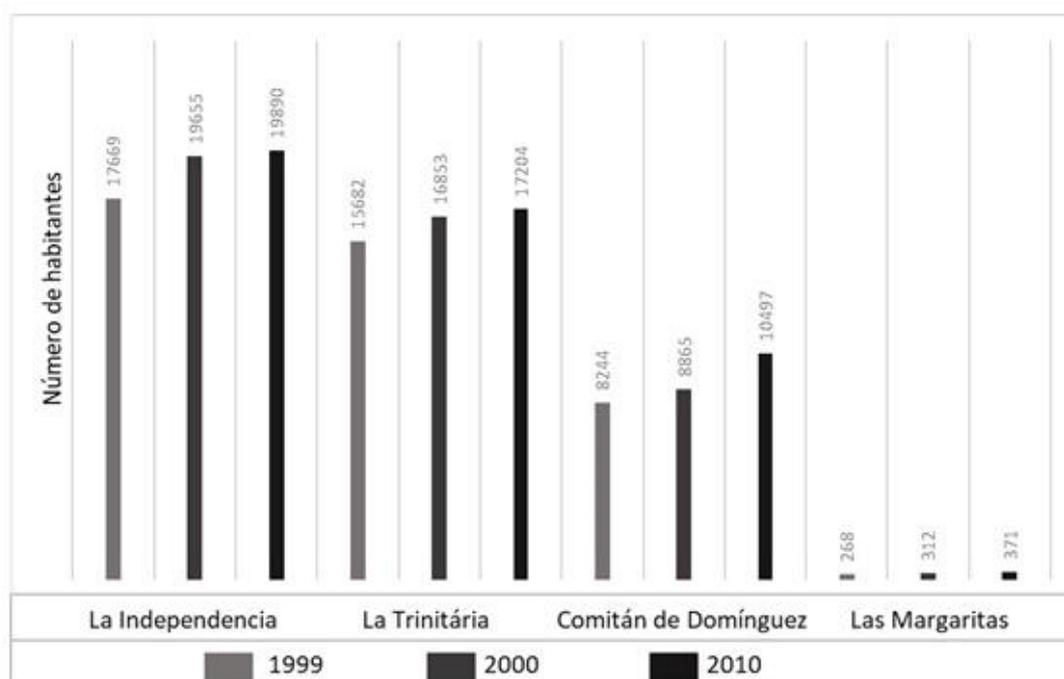


Figura 21. Número total de habitantes dos assentamentos rurais (*ejidos*) localizados nos municípios de La Independencia, La Trinitária, Comitán de Domínguez e Las Margaritas, inseridos na bacia hidrográfica Rio Grande Comitán (Chiapas, México), em relação ao levantamento censitário de 1990, 2000 e 2010. (CONAPO, 2010).

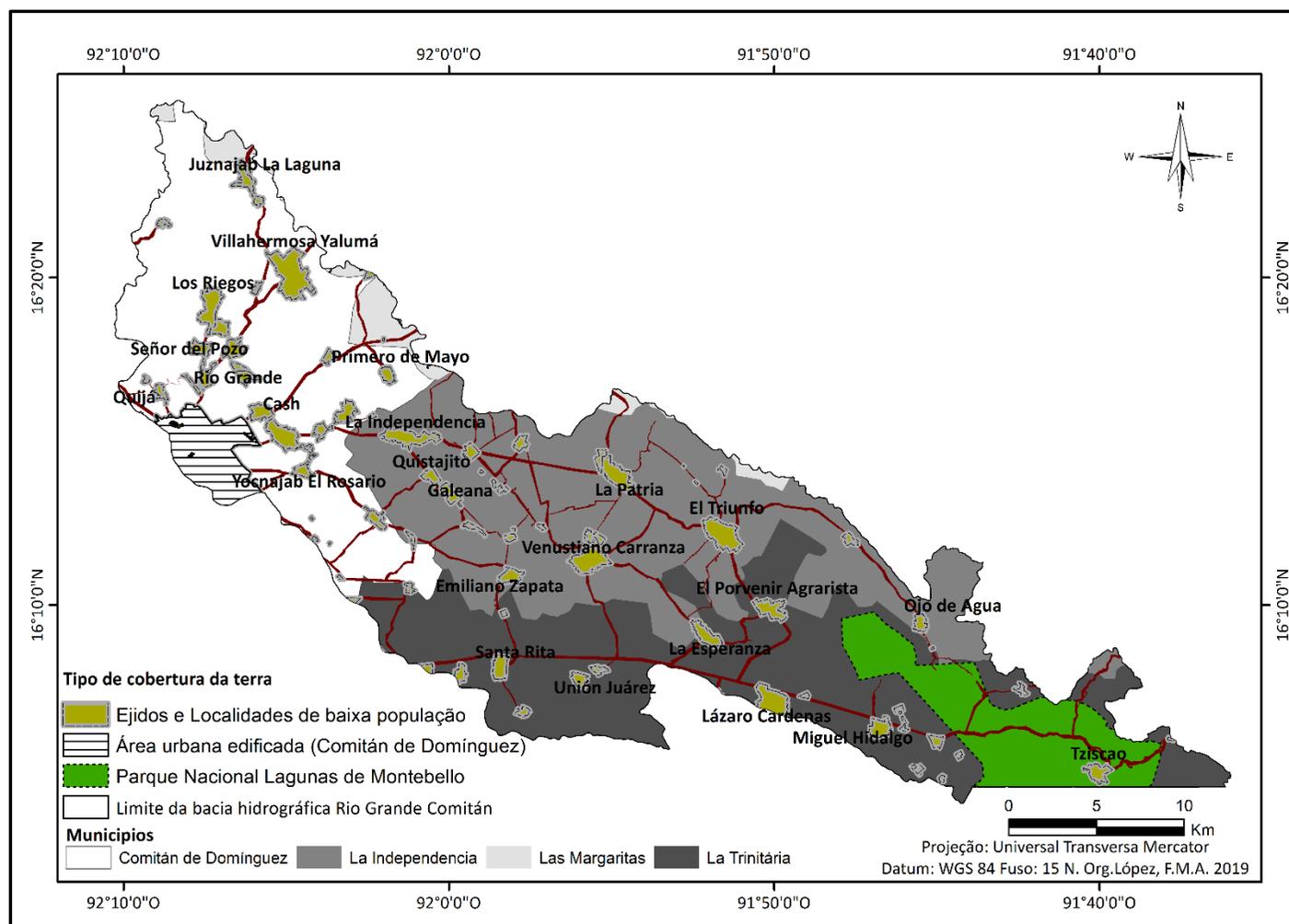


Figura 22. Distribuição espacial dos assentamentos rurais (*Ejidos*) localizados nos municípios de Comitán de Domínguez, La Independencia, La Trinitaria e Las Margaritas, inseridos na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, (Chiapas, México). Em destaque, a área ocupada pelo Parque Nacional Lagunas de Montebello e o *Ejido* Tziscão, inserido no interior do mesmo.

Tabela 7. Número de assentamentos rurais (\**Ejid*os) e densidade populacional de cada assentamento rural para os municípios de La Independencia, La Trinitária, Comitán de Domínguez e Las Margaritas, inseridos na bacia hidrográfica Rio Grande Comitán (Chiapas, México), em relação aos levantamentos censitários de 1990 e 2000.

La Independencia			La Trinitária			Comitán de Domínguez			Las Margaritas		
Comunidades	1990	2000	Comunidades	1990	2000	Comunidades	1990	2000	Comunidades	1990	2000
24 de Abril	230	254	Allende	714	794	Concepción Yocnajib	276	256	Plan de Agua Prieta	178	220
Buenavista	855	116	Antela (*)	250	323	El Tuilato Punta de Diamante	218	150	Unión Victoria	90	92
Chentón	403	450	Benito Juárez	250	225	Guadalupe Quistaj	431	415			
Concepción	172	260	El Nuevo Progreso	1.285	312	La Esperanza	144	146			
El Calvario	227	257	El Porvenir Agrarista	1.839	2.108	Miguel de la Madrid	•	132			
El Divisorio	136	167	El Rosario Tierra Blanca	123	277	San Antonio Copalar	154	104			
El Naranja	242	321	Juncana	482	414	San Antonio Z	84	113			
El Porvenir (*)	87	112	Lázaro Cárdenas (*)	2.526	2.984	San Francisco el Rincón	426	528			
El Prado	308	297	La Esperanza	1.988	2.092	San Isidro Tinajab	613	634			
El Rosario	393	434	Miguel Hidalgo (*)	1.631	1.893	San José Yocnajib	1.191	1.348			
El Triunfo (*)	4.048	4.570	Nueva Esperanza el Ocotol	24	113	San Juan del Valle	287	316			
Emiliano Zapata (*)	901	1.035	Nueva Rosita	137	161	San Miguel Tinajab	502	616			
Francisco Sarabia	914	1.252	Nuevo Porvenir	459	199	San Rafael Jocom	684	486			
Galeana	614	697	Nuevo Progreso	43	100	Señor del Pozo	1.068	1.251			
La Esperanza	181	167	Ocotol Ojo de Agua (*)	72	38	Villahermosa Yalumd	1.814	2.030			
La Finca	•	•	San Antonio Tzalan	14	49	Yocnajib el Rosario	352	340			
La Independencia	2.095	2.424	San Diego	590	673						
La Patria	1.229	1.430	San Juan del Valle	287	316						
Ojo de Agua	14	49	San Lorenzo	45	60						
Quistajito	523	546	Santa Rita	1.049	1.187						
Samaria (Santa Marua)	125	126	Tierra Blanca	179	183						
San Antonio Chiquinivaltic	444	426	Tziscaco (*)	898	1.319						
San Antonio Guayamusej	182	153	Unión Juárez	797	914						
San Marcos	26	15	Victorico R. Grajales	•	119						
Venustiano Carranza (*)	3.163	3.897									
Yalmutz	157	200									
<b>Total</b>	<b>17.669</b>	<b>19.655</b>	<b>Total</b>	<b>15.682</b>	<b>16.853</b>	<b>Total</b>	<b>8.244</b>	<b>8.865</b>	<b>Total</b>	<b>268</b>	<b>312</b>

(•) Valores populacionais não identificados

(\*) Os *Ejid*os El Porvenir, El Triunfo, Emiliano Zapata e Venustiano Carranza dedicam-se, especificamente, à agricultura intensiva e à agricultura de subsistência.

(\*) Os *Ejid*os Antelá, Miguel Hidalgo e Ocotol Ojo de Agua dedicam-se, principalmente, as atividades turísticas no entorno e dentro (*Ejido* Tziscaco) do Parque Nacional, como também à agricultura de subsistência, especificamente, o *Ejido* Lazaro Cárdenas.

De modo similar ao observado para a área total da bacia hidrográfica e para os territórios municipais nela inseridos, pode ser evidenciado a tendência da expansão das atividades antrópicas, no interior e no entorno imediato do Parque Nacional Lagunas de Montebello, com o consequente comprometimento das funções ecológicas do mesmo, ao longo do período de 20 anos (1999 – 2019) (**Figura 23**). Estes argumentos são suportados com base na redução dos valores totais das áreas dos níveis de hemerobia Próximo ao Natural e Alterado, em contrapartida, a expansão das áreas dos níveis de hemerobia Cultural e Artificial / Artificial com elementos naturais, ao longo do período de 20 anos (**Figura 24**).

A expansão das atividades antrópicas está, particularmente, relacionada à influência antrópica dos assentamentos rurais no entorno do Parque Nacional Lagunas de Montebello, extremamente, dependentes da agricultura de subsistência e do uso dos recursos naturais locais, ampliada pela influência do *Ejido* Tzisco, o único núcleo populacional estabelecido dentro do polígono do Parque Nacional (**Figura 25**).

Historicamente, o *Ejido* Tzisco resultou da alocação de uma área de 2.500ha, em 1956 (GORDILLO, 2018), para realocação de doze famílias de origem guatemalteca (*chuj*), com o objetivo de regular o estabelecimento de colonos em Montebello. Atualmente, o *Ejido* Tzisco ocupa uma área de 115ha (CONAGUA, 2007).

A área urbana do *Ejido* Tzisco está assentada às margens da Laguna Tzisco (**Figura 25A**), contemplando um traçado de arruamento urbano para atender os habitantes locais, bem como, as atividades de turismo no âmbito do Parque Nacional Lagunas de Montebello (**Figura 25B**).

Há poucos estudos disponíveis sobre o impacto das atividades de turismo, bem como, da influência da área urbana do *ejido* Tzisco com relação ao Parque Nacional Lagunas de Montebello. Pesquisas relacionadas sobre a capacidade suporte e alternativas como o pagamento proporcionados pelos serviços ambientais proporcionados, como estratégias para a conservação da biodiversidade e a manutenção das comunidades locais, foram abordadas em uma investigação intitulada “*Conservación de los lagos de Montebello*” (GARCIA, 2015). A autora, elaborou uma análise baseada na *Rede Social* para identificar os principais interesses e atividades econômicas dos *Ejidos*. O *Ejido* Antelá foi o que demonstrou maior interesse nas práticas ecoturísticas. Um aspecto interessante destacado por este estudo, foi a relação da proximidade entre os *Ejidos* e o Parque

Nacional Lagunas de Montebello, ressaltando que os *Ejid*os mais distantes manifestaram pouco ou nenhuma informação sobre aspectos direcionados para a conservação desta área natural (GARCÍA, 2015).

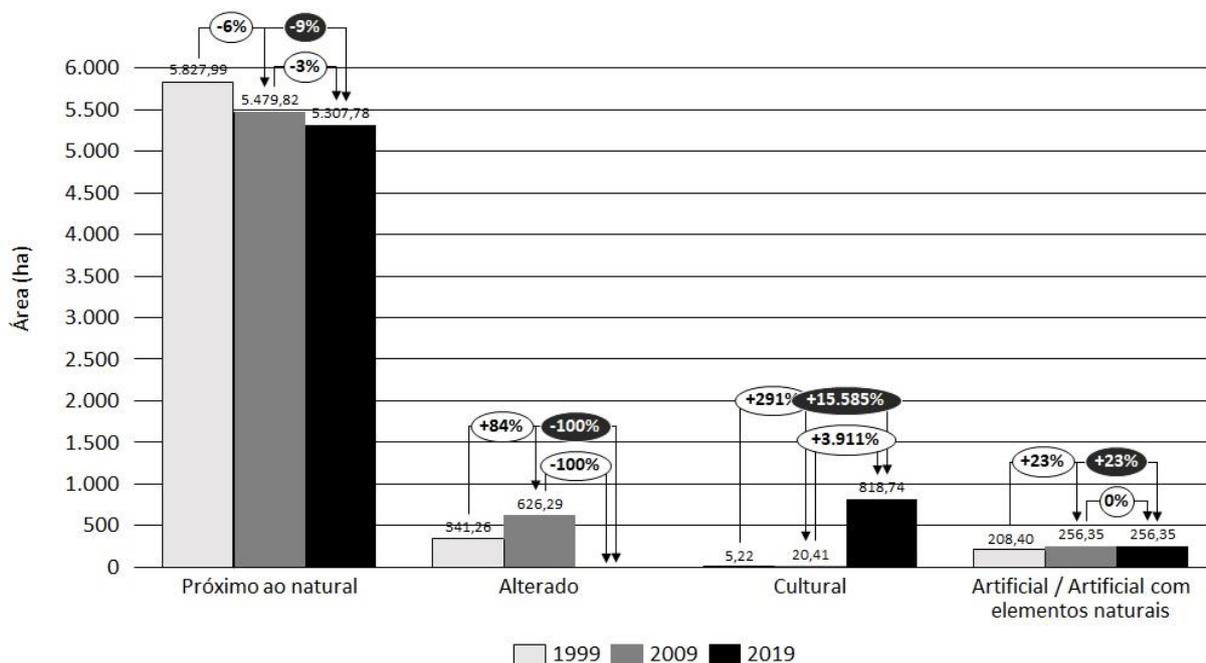


Figura 23. Valores totais das áreas (ha) dos níveis de hemerobia (Próximo ao Natural, Alterado, Cultural, e Artificial / Artificial com elementos naturais), nos anos de 1999, 2009 e 2019, com os percentuais de alteração de cada um dos níveis, entre os anos de 1999 – 2009 – 2019, no Parque Nacional Lagunas de Montebello (bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, Chiapas, México).

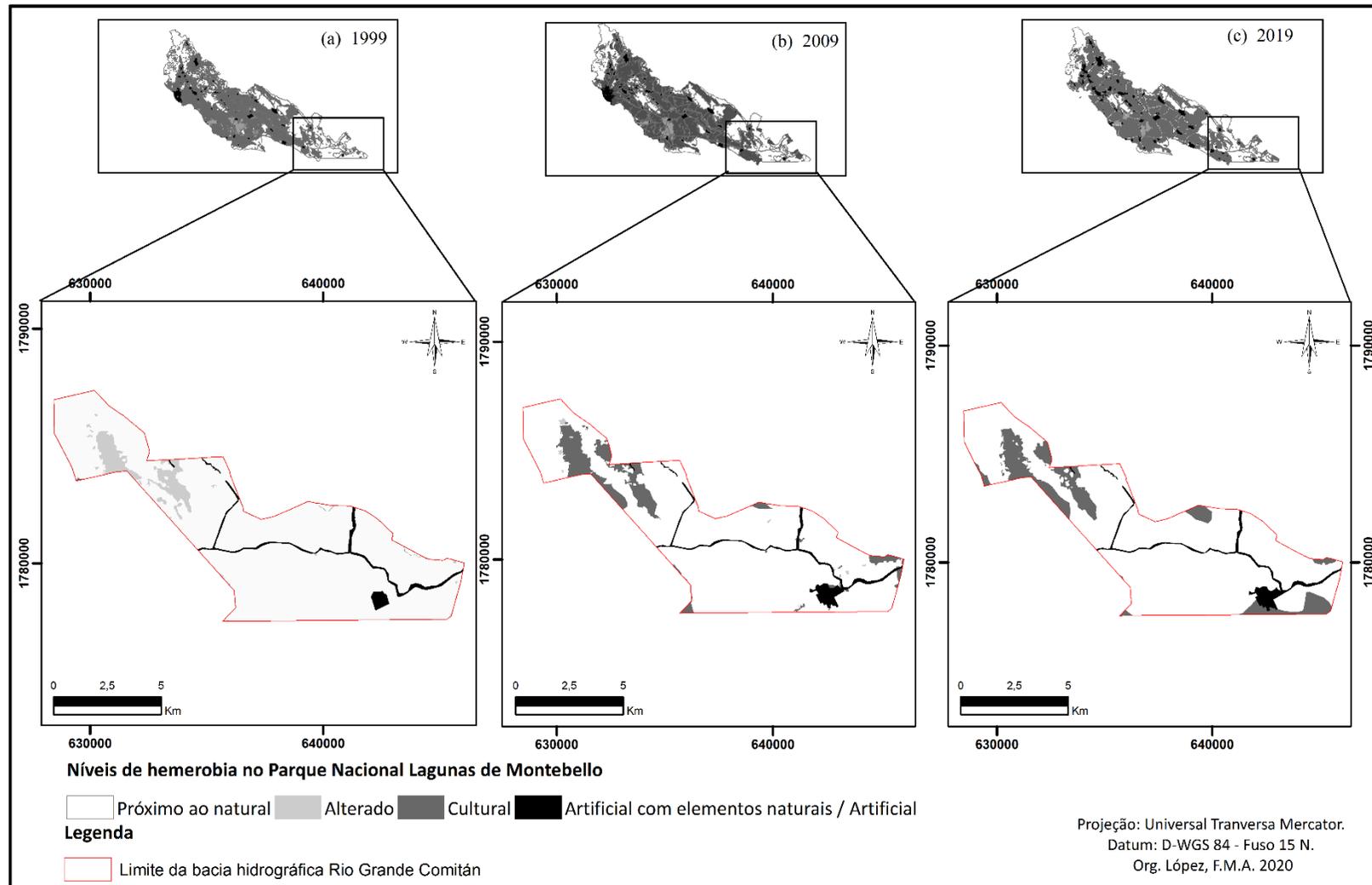


Figura 24. Distribuição espacial das atividades antrópicas com base nos níveis de hemerobia, nos limites do Parque Nacional Lagunas de Montebello (bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1999, 2009, 2019). Em destaque a área em preto relacionada ao perímetro urbano do Ejido Tziscoa.



Figura 25. Fotos ilustrativas correspondentes ao Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM) (Chiapas, México). A) Imagem aérea da área urbana do Ejido Tzisco localizado no cômputo do PNLM. Fonte: María del Rosario Bonifaz Alfonzo, 2009; B) Atividades de turistas nos postos comerciais existentes dentro do PNLM.

A identificação dos atores sociais interagentes é uma prática que pode beneficiar a proposição de estratégias de conservação para o Parque Nacional Lagunas de Montebello. Entretanto, esta estratégia está condicionada com o desenvolvimento de atividades agrícolas no polígono do Parque Nacional, com eventuais prejuízos à biodiversidade local. Outro condicionante no âmbito do Parque Nacional é a produção agrícola (simplificação extrema de um agroecossistema; monocultura e o uso não controlado de agroquímicos), que influencia na perda da biodiversidade, como também, interfere na beleza cênica da paisagem bastante explorada nas atividades de turismo. Práticas agrícolas menos agressivas, como no caso da produção agroecológica, poderão imprimir desenhos agroecológicos para o manejo sustentável, aumentando a eficiência biológica, a preservação da biodiversidade, além da manutenção de um sistema altamente diversificado com solo biologicamente ativo, reduzindo ao máximo os insumos externos (GLIESSMAN, 2001).

Além das práticas de manejo ecológico, a agroecologia amplia o diálogo de saberes e a troca de experiências, integrando as dimensões ecológica, antropológica, econômica, e a tecnológica que influenciam a dinâmica dos agroecossistemas, e na interação com diferentes vertentes sócio-culturais interagentes. Com essa abordagem interdisciplinar é possível, o resgate do conhecimento do manejo empírico dos sistemas agrícolas nativos, uma vez que é na unidade produtiva tradicional que ocorre a heterogeneidade espacial e a diversidade biológica (ALTIERI, 1999 e 2006; TOLEDO, 2008).

Conciliar o equilíbrio entre o conflito social e ecológico, parece ser a questão primordial para assegurar a conservação do Parque Nacional Lagunas de Montebello. Para isso torna-se necessário

a revisão e o monitoramento do Plano de Manejo do Parque, baseado em um zoneamento ambiental que concilie os aspectos da conservação da biodiversidade com os diferentes padrões de uso e manejo, permitidos para esta categoria de área natural protegida. O único plano de manejo do PNLM data de 2007 (CONAGUA, 2007) e não há informações disponíveis sobre a revisão do mesmo. Atualmente, a administração e a gestão do Parque Nacional Lagunas de Montebello são de responsabilidade do Ministério do Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMARNAT), por meio da Comissão Nacional de Áreas Naturais Protegidas (CONANP).

#### **4.5. Análise da transição dos valores de áreas entre os níveis de hemerobia**

A análise da transição, espacial e quantitativa (**Figura 26**), dos valores de áreas dos níveis de hemerobia (Próximo ao Natural, Alterado, Cultural, Artificial, e Artificial com Elementos Naturais), constituiu uma etapa fundamental na análise do padrão antropogênico da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, nos intervalos temporais de 1999-2009 / 2009-2019 / 1999-2019.

No período entre 1999 e 2009, as mudanças no padrão espacial das áreas dos cinco níveis de hemerobia, estiveram associadas, aproximadamente, a 55% da área total da bacia hidrográfica. Os principais valores dos fluxos de transição, em valores percentuais de área, foram identificados entre níveis de hemerobia Próximo ao Natural para Cultural (14,85%), e Alterado para Cultural (35,07%). Ao redor de 45% da área total da bacia hidrográfica permaneceu inalterada com relação aos tipos de usos da terra (**Figura 26**).

O período entre 2009 e 2019, pode ser considerado como aquele em que se acentuou a ocupação antrópica na bacia hidrográfica, ao longo do período de 10 anos, em que, ao redor de, 83% da área total da mesma permaneceu inalterada com relação aos valores de áreas dos cinco níveis de hemerobia. Em contrapartida, a transição entre os níveis de hemerobia, com destaque ao fluxo entre o Próximo ao Natural – Cultural (9,15%), foi restrita a 17% da área total remanescente da bacia hidrográfica (**Figura 26**).

Ao longo do período de 20 anos (1999 – 2019), 40% da área total da bacia hidrográfica, aproximadamente, permaneceu inalterada com relação aos valores de áreas dos cinco níveis de hemerobia, evidenciando a extensão do processo de ocupação antrópica. O cenário do padrão antropogênico da bacia hidrográfica, no período de 20 anos, se consolida com os maiores valores

de fluxos de transição entre os níveis de hemerobia Próximo ao Natural – Cultural (19,87%), bem como, entre os níveis de hemerobia Alterado - Cultural (39,19%), que acontecem na área total remanescente (60%) da bacia hidrográfica (**Figura 26**).

Isto pode ser explicado pela inserção do México ao Tratado de Livre Comercio de América do Norte (North American Free Trade Agreement – NAFTA), sendo um acordo trilateral dos países: Estados Unidos, Canadá e México. O tipo de produtos exportados do México é derivado do trabalho árduo, exportando para Canadá cerveja, tomate, goiabas, mangas, pimentas e abacates (CARLBERG e RUDE; 2004).

Esses valores de transição refletem a expansão das atividades agrícolas, agregando às práticas agrícolas desenvolvidas nos *Ejid*os, bem como, da redução das áreas de mata ripária e das áreas úmidas (*Ciénegas*), em contrapartida ao cultivo agrícola, particularmente, evidenciado para a região central da bacia hidrográfica. Deve ser ressaltado que esta região é considerada com a maior aptidão agrícola, por estar assentada em solo Chernozem, com alto conteúdo de carbono orgânico, magnésio, potássio e carbonatos no sub-solo.

Os fluxos de transição entre os níveis de hemerobia da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, ao longo do tempo de 20 anos (1999 – 2019), apontam a ocorrência de dois cenários tendenciais, em que:

(1) a matriz relacionada aos componentes naturais da paisagem vem sendo substituída por uma matriz predominantemente antrópica agrícola, particularmente, para a região média da bacia hidrográfica,

(2) potencializada pela expansão da urbanização relacionada como o crescimento da área urbana de Comitán de Domínguez, como também, pelas manchas agrícolas e urbanas associadas às atividades e expansão dos assentamentos rurais (*Ejid*os), que ao longo do tempo, serão expressivos na configuração da matriz antrópica.

A importância da intensificação da produtividade agrícola é essencial para a evolução dos assentamentos rurais e das áreas urbanas. As mudanças antropogênicas associadas a transição dos níveis de hemerobia da bacia hidrográfica acentua a condição do espaço geográfico como um

recurso limitado, na perspectiva do equilíbrio entre a condição natural (conservação) e cultural/artificial (desenvolvimento).

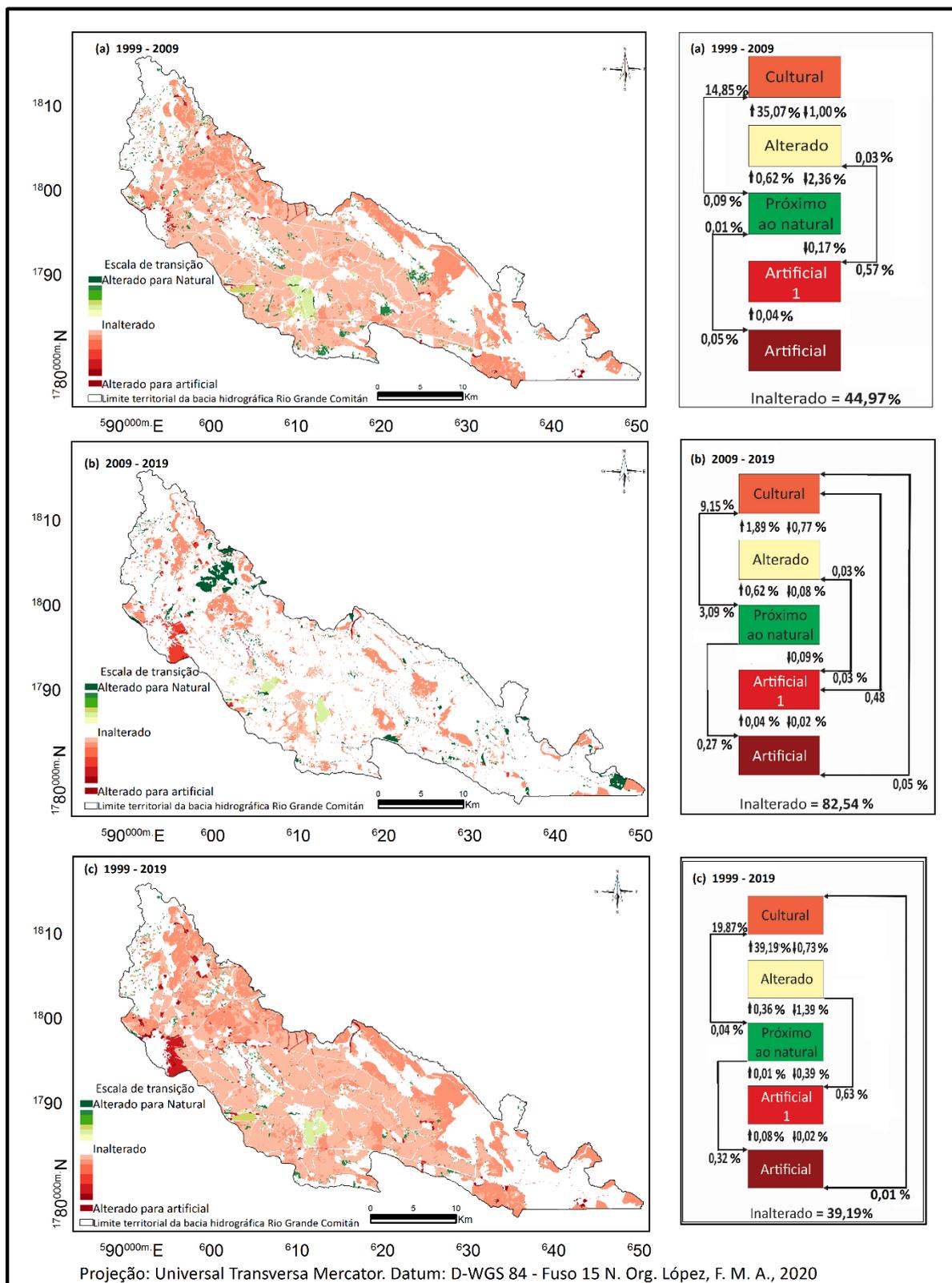


Figura 26. Representação espacial da transição (valores % de área) entre os níveis de hemerobia (\*) da bacia hidrográfica Rio Grande Comitán (Chiapas, México), nos períodos de 1999 - 2009 / 2009 - 2019 / 1999 - 2019.

#### 4.6. Análise da transição dos valores de áreas para as três categorias de $D_2N$

A análise quantitativa espaço-temporal da dinâmica dos valores de  $D_2N$ , agrupados em três categorias (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 1), adaptadas de RÜDISSER et al. (2012), evidenciou as principais mudanças na dinâmica das atividades antrópicas ocorridas na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, no período de 20 anos (**Figura 27**).

Para a categoria 0 – 0,06, relacionada aos menores valores de  $D_2N$ , foi observada uma redução, aproximada, de 15%, na área de vegetação nativa da bacia hidrográfica, no período de 20 anos (**Figura 27d**). A área remanescente, ao redor de 30%, em 2019, (**Figura 27d**), permaneceu restrita a fragmentos de vegetação nativa. Entre eles, com destaque para o Parque Nacional Laguna de Montebello, situado no extremo sudeste do território municipal de La Trinitária, e um outro situado no extremo nordeste da bacia hidrográfica, no território municipal de Comitán Domínguez. Regiões, respectivamente, assentadas em um gradiente decrescente de declividade em relação ao município de Comitán Domínguez (ao redor de 2.400m) para o de La Trinitária (declividade média de 1.500m) (**Figura 27c**).

Valores intermediários de  $D_2N$ , relacionados à categoria 0,06 – 0,35, configurados por áreas de pastagens com pouca quantidade de elementos naturais, apresentaram uma redução, aproximada, de 7%, ao longo do período de 20 anos, na área da bacia hidrográfica (**Figura 27d**). O declínio destas áreas categorizadas com o nível Alterado de hemerobia foi, particularmente, observado para a região média da bacia hidrográfica (**Figura 27a, b, c**). A categoria 0,35 – 1, relacionada aos maiores valores de  $D_2N$ , foi a que apresentou a maior alteração, ao redor de 22%, em 2019 (**Figura 27d**), resultante da expansão dos usos antrópicos, agrícola e não-agrícola, na bacia hidrográfica, no período de 20 anos. O cenário configurado (**Figura 27a,b,c**), resultou da substituição de áreas categorizadas nos níveis de hemerobia Próximo ao Natural e Alterado, em contrapartida ao aumento da antropização na bacia hidrográfica, apontando a ocorrência de duas trajetórias tendenciais, no período entre 1999 – 2019 (**Figura 27a, b, c**): 1. A redução da Naturalidade, em contrapartida, 2. A expansão das atividades antrópicas resultantes do aumento das atividades agrícolas, principalmente, e da urbanização. Remete a perda e a substituição do componente natural da bacia hidrográfica, com a transformação gradual da mesma em uma paisagem cultural, com matriz, predominantemente, antrópica.

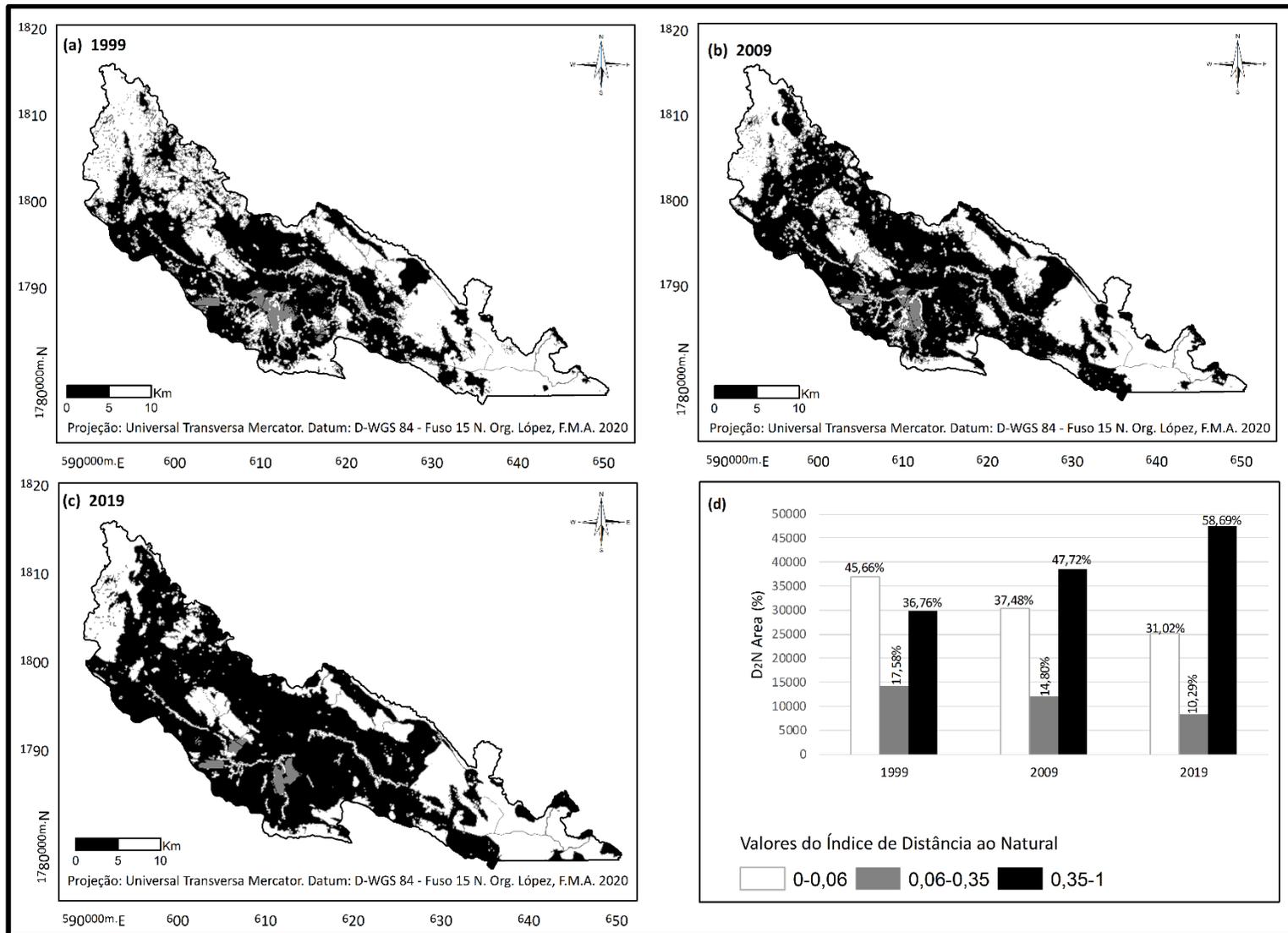


Figura 27. Representação espacial da dinâmica das três categorias (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 1) dos valores do Índice de Distância do Natural (D<sub>2</sub>N) para a bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1999 – 2019).

Com base no mapa perceptual (**Figura 28**), pode ser evidenciado que o primeiro componente explica 86,34% da variabilidade dos dados, enquanto que o segundo explica 13,66%. Pode ser considerado que o mapa perceptual bidimensional está adequado para avaliar as relações entre os valores para as três categorias de  $D_2N$  (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 1) e anos (1999, 2009 e 2019), uma vez que explica grande parte da variabilidade dos dados.

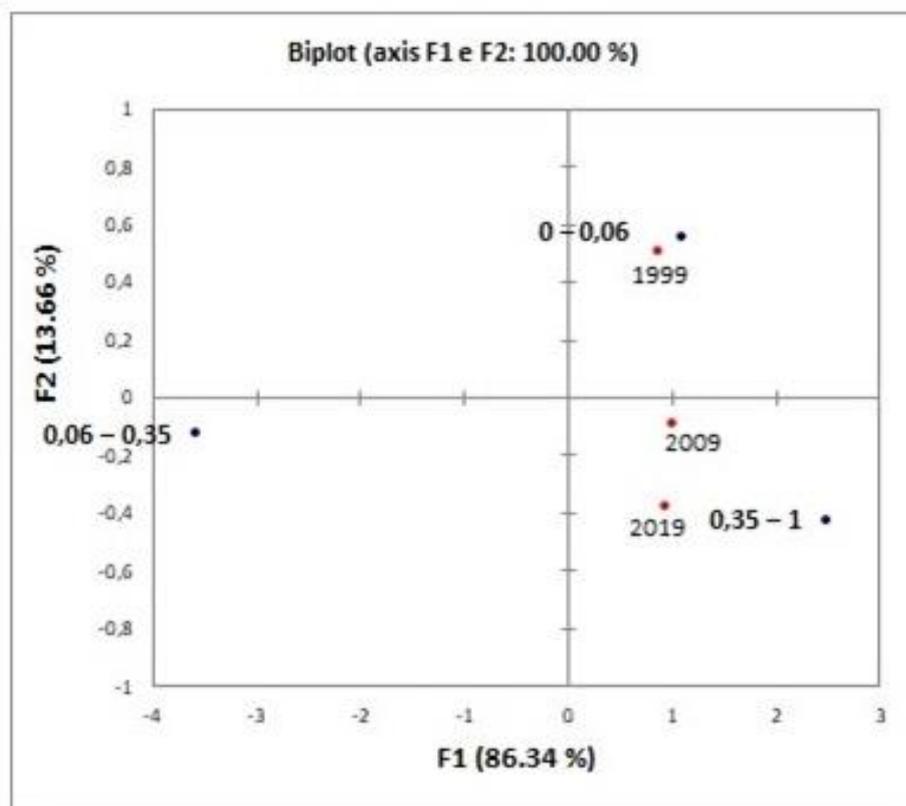


Figura 28. Mapa perceptual bidimensional, resultado do PCA, apresentou os percentuais de variabilidade para os componentes F1 e F2, como adequado para avaliar as relações entre os valores para as três categorias de  $D_2N$  (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 1) e anos (1999, 2009 e 2019), na bacia hidrográfica do Rio Grande-Comitán (Chiapas, México).

No mapa perceptual (**Figura 28**) torna-se evidente que a expansão do processo de antropização resulta, principalmente, do aumento do valor de  $D_2N$  da categoria 0,35 – 1, em oposição à redução dos valores de  $D_2N$  da categoria 0 – 0,06, ao longo do período de 20 anos. O ano 1999 se opõe em relação aos outros anos de 2009 e 2019. Os anos de 2009 e 2019 apontam a expansão dos usos antrópicos agrícola e não-agrícola, enquanto que os valores de  $D_2N$  da categoria 0,06 – 0,35, evidencia um comportamento independente em relação aos anos. Os resultados atestam diferenças estatisticamente significativas para as 03 categorias de valores de  $D_2N$ , validando a aplicação do Índice de Distância ao Natural ( $D_2N$ ) em identificar a distribuição e

mudanças dos valores de áreas com, maior e menor, relevância à biodiversidade da bacia hidrográfica, ao longo do período de 20 anos (1999 – 2019).

A análise da transição, espacial e quantitativa, dos valores de áreas para as três categorias de  $D_2N$  (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 1), constituiu uma evidência fundamental da validade da aplicação do Índice Distância do Natural, na análise do padrão antropogênico da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, nos intervalos temporais de 1999-2009 / 2009-2019 / 1999-2019 (**Figura 29**).

No período entre 1999 e 2009, as mudanças no padrão espacial das áreas das três categorias de  $D_2N$ , estiveram associadas, aproximadamente, a 15% da área total da bacia hidrográfica. Os principais valores dos fluxos de transição, em valores percentuais de área, foram identificados entre as categorias 0 – 0,06 para 0,06 – 0,35 e 0,06 – 0,35 para 0,35 -1. Ao redor de 85% da área total da bacia hidrográfica permaneceu inalterada com relação aos tipos de usos da terra (**Figura 29**).

O período entre 2009 e 2019, ao redor de, 83% da área total da mesma permaneceu inalterada. Em contrapartida, a transição entre os valores de área para as três categorias de  $D_2N$ , com destaque aos fluxos entre as categorias 0 – 0,06 para 0,06 – 0,35 e 0,06 – 0,35 para 0,35 -1, foi restrita a 17% da área total remanescente da bacia hidrográfica (**Figura 29**).

Ao longo do período de 20 anos (1999 – 2019), 84% da área total da bacia hidrográfica, aproximadamente, permaneceu inalterada, evidenciando a extensão do processo de ocupação antrópica. O cenário do padrão antropogênico da bacia hidrográfica, no período de 20 anos, se consolida com os valores de fluxos de transição entre as categorias 0 – 0,06 para 0,06 – 0,35 e 0,06 – 0,35 para 0,35 -1, restritos 16% da área total da bacia hidrográfica (**Figura 29**).

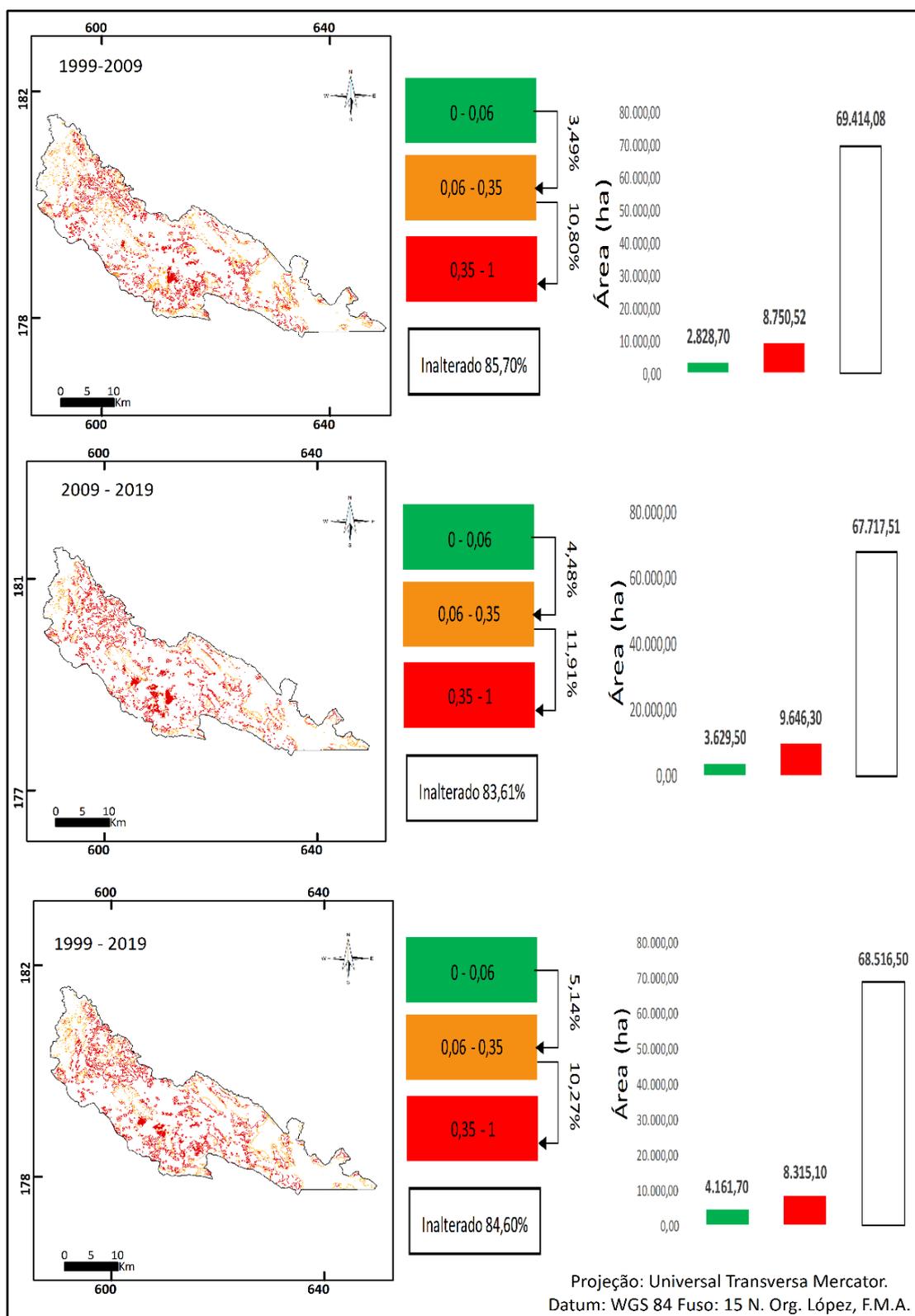


Figura 29. Representação espacial da transição (valores % de área) para as três categorias de  $D_2N$  (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 1) da bacia hidrográfica Rio Grande Comitán (Chiapas, México), nos períodos de 1999 - 2009 / 2009 - 2019 / 1999 – 2019. Em destaque os fluxos de transição entre as três categorias de  $D_2N$  e dos respectivos valores de áreas, nos períodos de 1999 - 2009/ 2009 - 2019 /1999 – 2019

#### 4.7 Análise da transição dos valores de áreas para as cinco categorias de $D_2N$

A reclassificação do esquema original simplificado para um esquema com 05 (cinco) categorias (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 0,8 / 0,8 – 0,9 / 0,9 – 1), possibilitou maior clareza na interpretação das mudanças dos valores de  $D_2N$  da bacia hidrográfica, particularmente, para o intervalo de 0,35 – 1, ao longo do período de 20 anos (**Figura 30**). Possibilitou melhor representatividade, quanto a área de extensão e localização na bacia hidrográfica, dos tipos distintos das influências das atividades antrópicas associadas à agricultura e a urbanização. Esta consideração foi bastante peculiar, particularmente, para o componente relacionado à atuação dos assentamentos rurais (*Ejidros*) (**Figura 30a, b, c**), na forma de espaços legalmente instituídos para inserção efetiva das comunidades campesina e indígena, como parte do histórico da questão da posse da terra no México.

A representação diferenciada das três categorias dos valores de  $D_2N$  para o intervalo 0,35 – 1 (**Figura 30**), ressaltou a contribuição e a clareza que podem ser conferidas no monitoramento e planejamento ambiental da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, possibilitando a identificação das áreas estratégicas para a conservação da biodiversidade, bem como, àquelas mais comprometidas pela expansão das atividades antrópicas, agregando, efetivamente, a inserção social das comunidades locais.

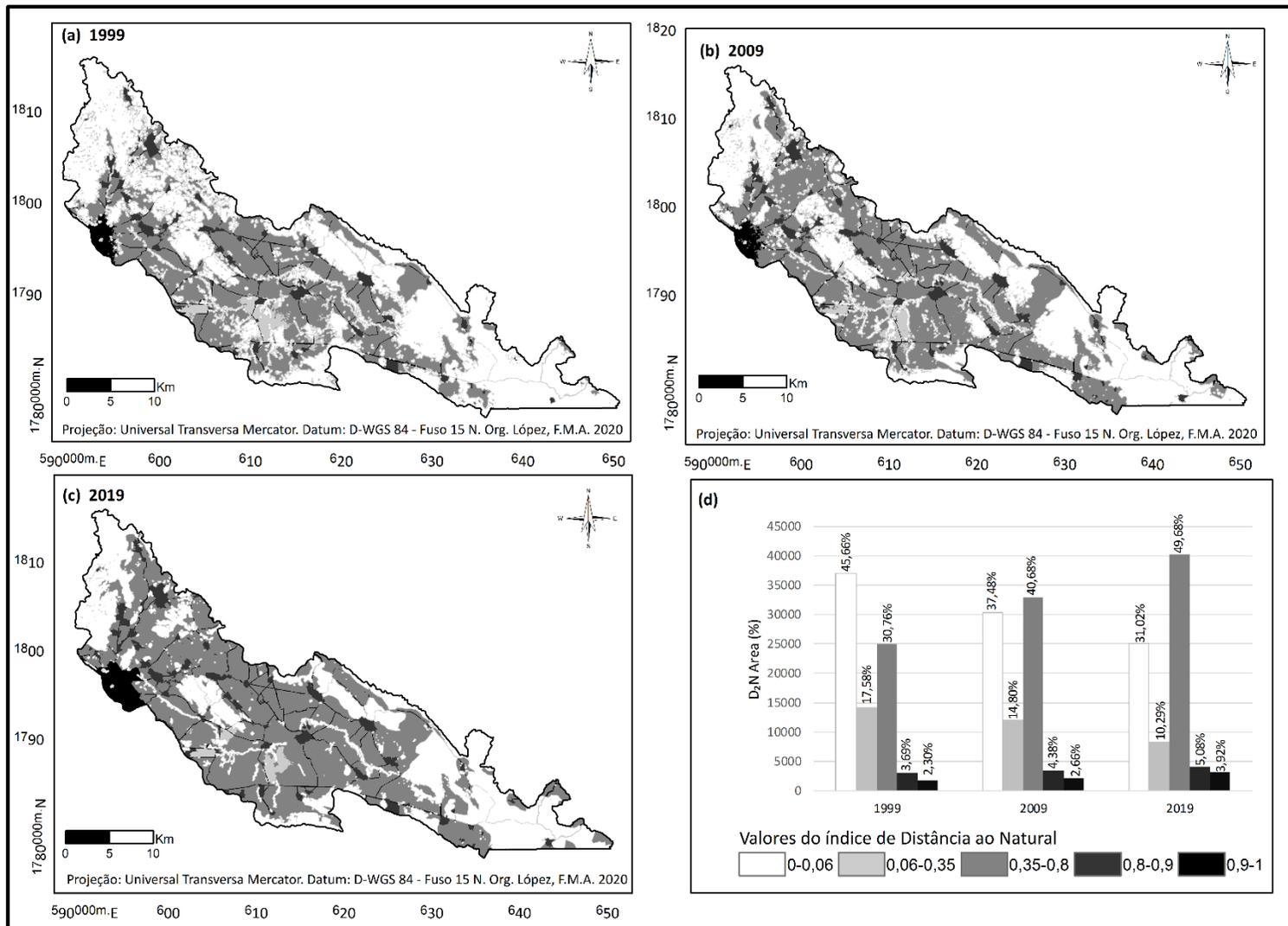


Figura 30. Representação espacial da dinâmica das cinco categorias (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 - 0,8 / 0,8 – 0,9 / 0,9 – 1) dos valores do Índice de Distância ao Natural ( $D_2N$ ) para a bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1999 – 2019).

Com base no mapa perceptual (**Figura 31**), pode ser evidenciado que o primeiro componente explica 92,88% da variabilidade dos dados, enquanto que o segundo explica 7,09%. Pode ser considerado que o mapa perceptual bidimensional está adequado para avaliar as relações entre os os valores para as cinco categorias de  $D_2N$  (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 0,8 / 0,8 – 0,9 / 0,9 – 1) e anos (1999, 2009 e 2019).

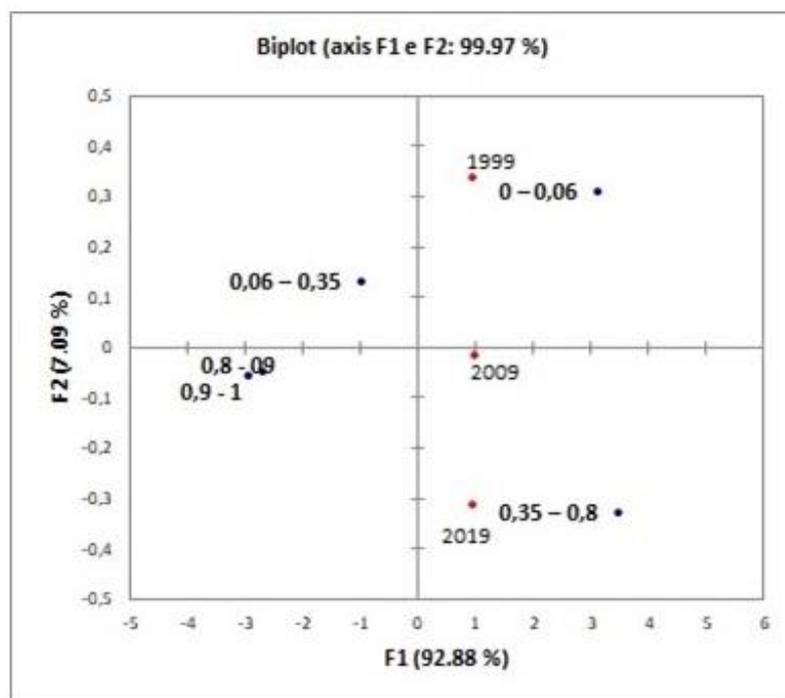


Figura 31. Mapa perceptual bidimensional, resultado do PCA, apresentou os percentuais de variabilidade para os componentes F1 e F2, como adequado para avaliar as relações entre os valores para cinco categorias de  $D_2N$  (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 0,8 / 0,8 – 0,9 / 0,9 – 1) e anos (1999, 2009 e 2019), na bacia hidrográfica do Rio Grande-Comitán (Chiapas, México).

No mapa perceptual (**Figura 31**) torna-se evidente que a expansão do processo de antropização resulta, principalmente, do aumento do valor de  $D_2N$  da categoria 0,35 – 0,8, em oposição à redução dos valores de  $D_2N$  da categoria 0 – 0,06, ao longo do período de 20 anos. O ano 1999 se opõe em relação aos outros anos de 2009 e 2019. Os anos de 2009 e 2019 apontam a expansão dos usos antrópicos agrícola e não-agrícola. Os resultados atestam diferenças estatisticamente significativas para as 05 categorias de valores de  $D_2N$ , validando a aplicação do Índice de Distância ao Natural ( $D_2N$ ) em identificar a distribuição e mudanças dos valores de áreas com, maior e menor, relevância à biodiversidade da bacia hidrográfica, ao longo do período de 20 anos (1999 – 2019).

A análise da transição, espacial e quantitativa, dos valores de áreas para as cinco categorias de  $D_2N$  (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 0,8 / 0,8 – 0,9 / 0,9 – 1), constituiu uma evidência fundamental da validade da aplicação do Índice Distância do Natural, na análise do padrão antropogênico da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, nos intervalos temporais de 1999-2009 / 2009-2019 / 1999-2019, (**Figura 32**). Principalmente, quando considerado a maior representatividade do número de categorias de valores de  $D_2N$ .

No período entre 1999 e 2009, as mudanças no padrão espacial das áreas das cinco categorias de  $D_2N$ , estiveram associadas, aproximadamente, a 57% da área total da bacia hidrográfica. Um percentual muito maior que o identificado para representação com somente 03 categorias de  $D_2N$ . Os principais valores dos fluxos de transição, em valores percentuais de área, foram identificados entre as categorias 0 – 0,06 para 0,35 – 0,8 e 0 - 0,06 para as categorias associadas à ocupação antrópica não-agrícola. Ao redor de 43% da área total da bacia hidrográfica permaneceu inalterada com relação aos tipos de usos da terra (**Figura 32**).

O período entre 2009 e 2019, ao redor de, 34% da área total da mesma permaneceu inalterada. Em contrapartida, a transição entre os valores de área para as cinco categorias de  $D_2N$ , com destaque aos fluxos entre as categorias 0 – 0,06 para 0,06 – 0,35, e 0 - 0,06 para as categorias associadas à ocupação antrópica não-agrícola, restritos a 66% da área total remanescente da bacia hidrográfica (**Figura 32**).

Ao longo do período de 20 anos (1999 – 2019), 32% da área total da bacia hidrográfica, aproximadamente, permaneceu inalterada, evidenciando a extensão do processo de ocupação antrópica. O cenário do padrão antropogênico da bacia hidrográfica, no período de 20 anos, se consolida com os valores de fluxos de transição entre as categorias 0 – 0,06 para 0,06 – 0,35 e para 0,35 -0,8, além de 0 - 0,06 para as categorias associadas à ocupação antrópica não-agrícola, restritos a 68% da área total da bacia hidrográfica (**Figura 32**).

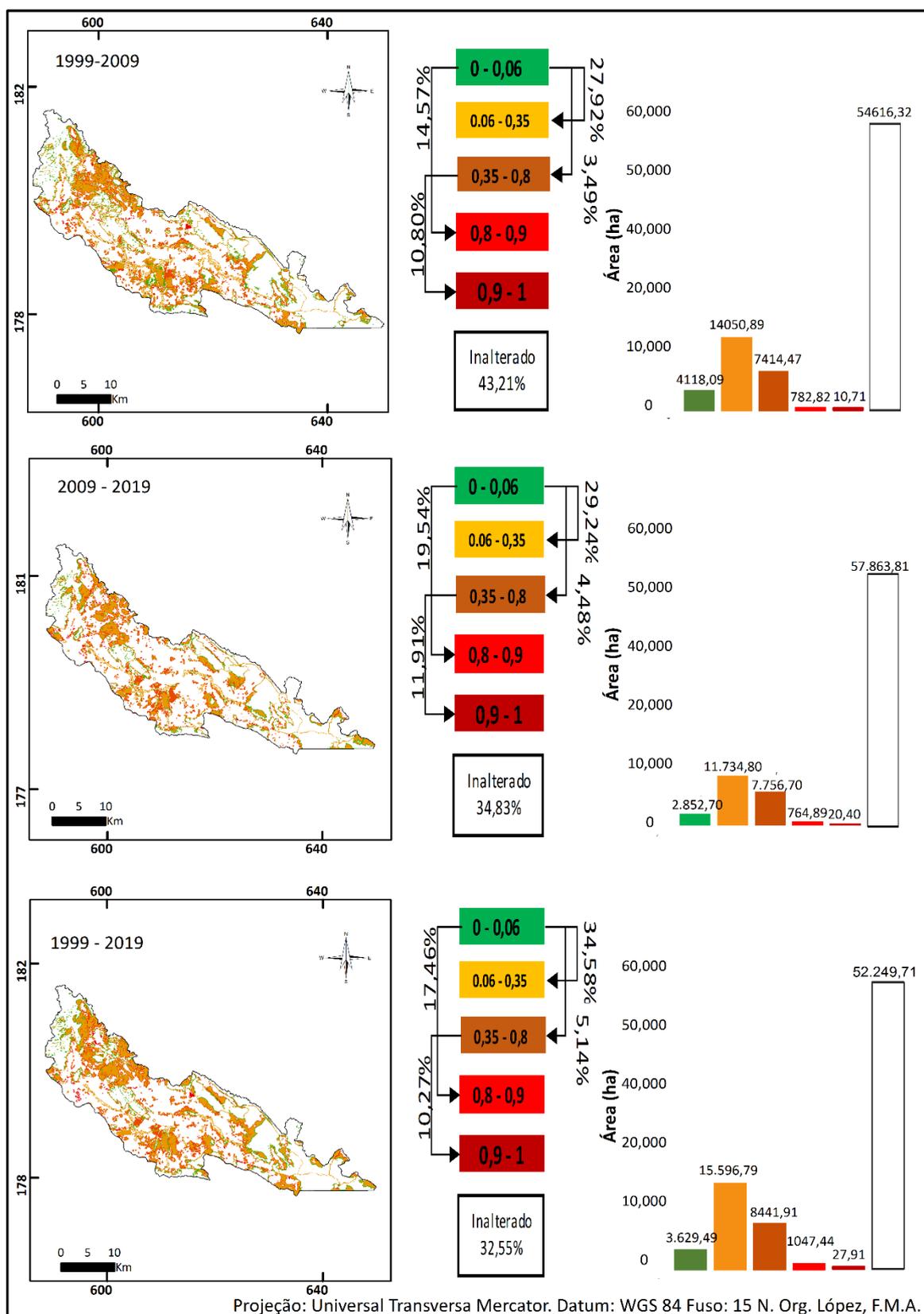


Figura 32. Representação espacial da transição (valores % de área) para as três categorias de  $D_2N$  (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 0,8 / 0,8 – 0,9 / 0,9 – 1) da bacia hidrográfica Rio Grande Comitán (Chiapas, México), nos períodos de 1999 - 2009 / 2009 - 2019 / 1999 – 2019. Em destaque os fluxos de transição entre as três categorias de  $D_2N$  e dos respectivos valores de áreas, nos períodos de 1999 - 2009/ 2009 - 2019 /1999 – 2019.

A análise compartimentalizada do processo de antropização, com base nos valores para as três (**Figura 33a-f**) e cinco categorias (**Figura 33g-l**) de valores de  $D_2N$ , para os 03 municípios com maiores extensões de áreas (Comitán de Domínguez, La Independencia e La Trinitária), inseridas na bacia hidrográfica, foi similar ao relatado para a área total da bacia hidrográfica, ao longo do período de 20 anos (1999 – 2019).

O município de Las Margaritas não foi considerado nesta análise em função de possuir uma fração mínima de área (2.850,52ha) inserida na bacia hidrográfica. Essa fração mínima de área concentra somente 0,2% do contingente demográfico da bacia hidrográfica, restrito a 06 assentamentos urbanos (INEGI, 2005).

Os territórios municipais de Comitán de Domínguez, La Independencia e de La Trinitária responderam, de maneira similar, ao processo de antropização, com relação à redução da Naturalidade, em contrapartida, à expansão da agricultura (**Figura 33d-f; Figura 33j-l**) independente do esquema de categorização dos valores de  $D_2N$ , possibilitando identificar um gradiente com, maior e menor, comprometimento antrópico para os municípios de Comitán Domínguez e La Trinitária, respectivamente, ao longo do período de 20 anos (**Figura 33dj; Figura 33f,l**).

A categoria 0 – 0,06, associada aos menores valores de  $D_2N$ , está relacionada com a redução no estoque de vegetação nativa para os três municípios, no período de 20 anos, em que Comitán de Domínguez e La Independencia configuram a menor, e La Trinitária a maior condição de Naturalidade, em 2019 (**Figura 33**). Salientando que estudos demonstram que a vegetação mais afetada no estado de Chiapas é a floresta mesófila da montanha, localizada também no município de La Trinitária, pelo que torna-se necessário planos de conservação nesta área (LORENZO et al., 2017; SÁNCHEZ et al., 2017). Assim, o impacto dos fatores de pressão sobre a biodiversidade, como é o caso da distribuição do jaguar, *Panthera onca* com registro nos municípios de Comitán e La Trinitária em 1950, hoje ocupada por assentamentos humanos e pelas atividades de agricultura e ganadería (SÁNCHEZ et al., 2017).

O padrão espacial do uso e cobertura do solo revela a transformação no espaço e no tempo da paisagem e, conseqüentemente, a fragmentação da floresta nativa (OTAVO e ECHEVERRÍA, 2017). Considerando que a perda de habitat e o aumento de fragmentação influencia na manutenção da biodiversidade (TORO et al., 2016). Paisagens com grandes fragmentos contínuos de floresta madura, vegetação secundária e sistemas agroforestales que tenham conectividade entre eles, influencia e beneficia ao fluxo de organismos (e.g. correlação positiva entre abundância

e habitat de qualidade), pois depende da capacidade de dispersão da espécie em interesse, (OLVERA et al., 2016; VALDIVIA et al., 2016).

O grau de conectividade numa paisagem pode ser medidas por meio das bordas (i.e. considerado, como limite ou potencial para o deslocamento de uma determinada espécie) e o isolamento, ou seja, o grau de separação espacial entre os fragmentos (SALAZAR et al., 2017).

Valores de  $D_2N$  para a categoria 0,06 – 0,35, apresentaram uma redução em relação aos três territórios municipais, ao longo do período de 20 anos, estando relacionados com as áreas ocupadas por pastagens com pouca quantidade de elementos naturais, (**Figura 33**).

A categoria 0,35 – 0,8 dos valores de  $D_2N$  apresentou a maior alteração, no período de 20 anos, resultante da expansão do uso antrópico agrícola para os três territórios municipais, (**Figura 33**). Imprime um cenário do aumento da antropização, em contrapartida a redução da Naturalidade, com evidências da transformação gradual dos três territórios municipais em uma paisagem com matriz, predominantemente, antrópica. Evidências de um comprometimento antrópico iniciado em um tempo anterior a 1999.

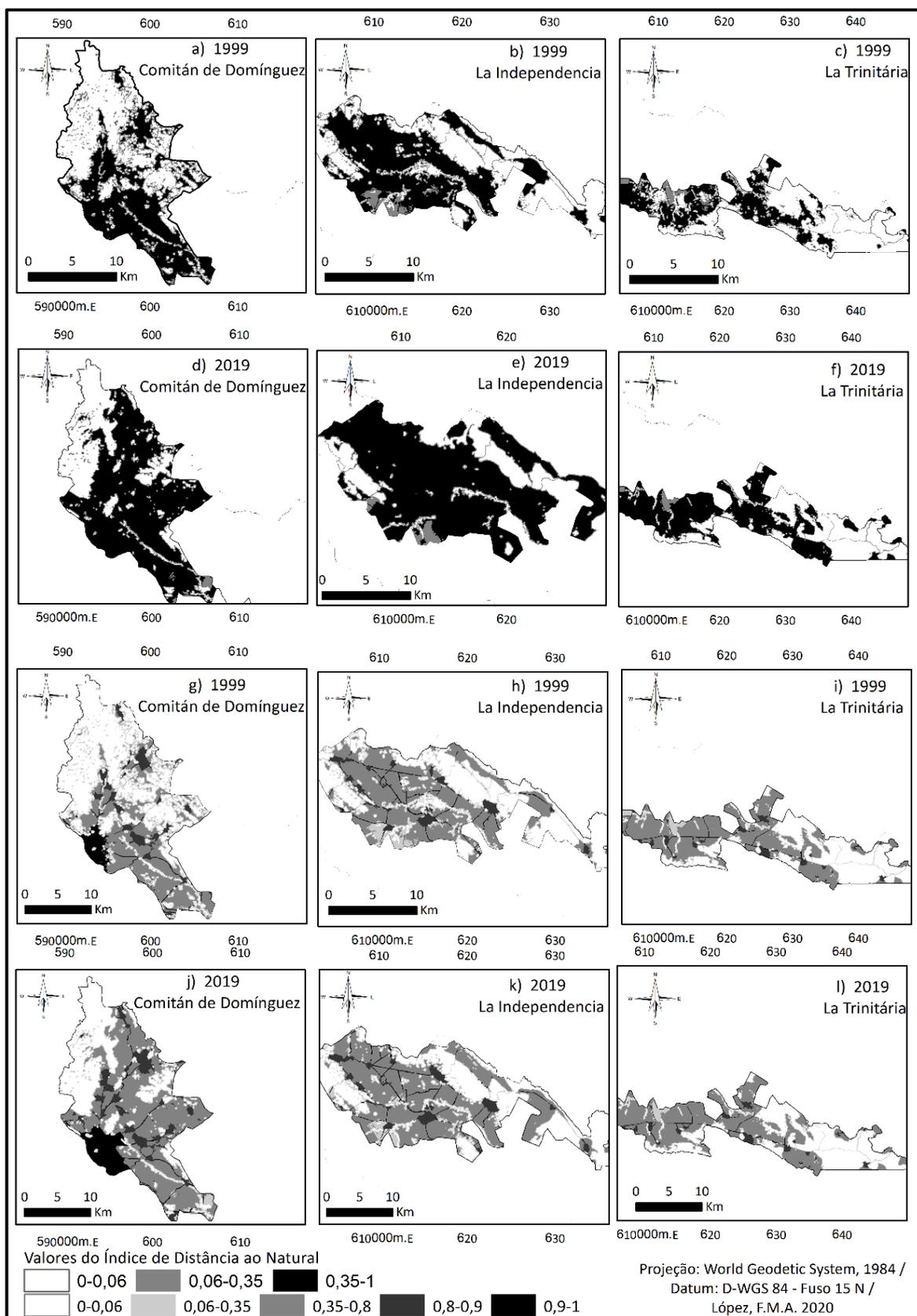


Figura 33. Representação espacial da dinâmica para as três (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 1) e cinco categorias (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 - 0,8 / 0,8 – 0,9 / 0,9 – 1) dos valores do Índice de Distância ao Natural ( $D_2N$ ) para os municípios de Comitán de Domínguez, La Independencia e La Trinitária, inseridos na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1919 – 2019).

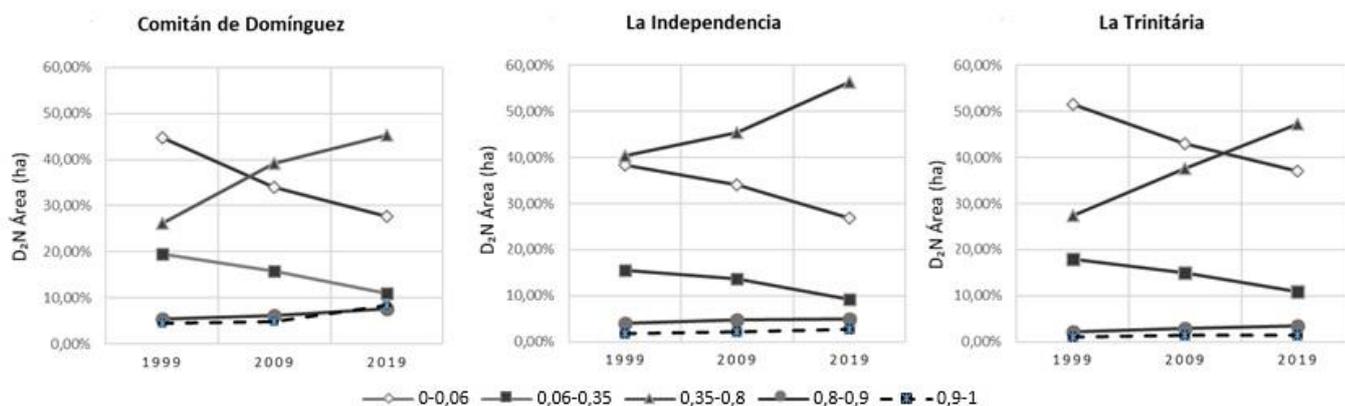


Figura 34. Dinâmica dos valores de áreas (%) das cinco categorias (**0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 - 0,8 / 0,8 – 0,9 / 0,9 – 1**) do Índice de Distância ao Natural (**D<sub>2</sub>N**), para os municípios de Comitán de Domínguez, La Independencia e La Trinitária, inseridos na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1999 – 2019).

Os valores de **D<sub>2</sub>N** para as categorias 0,8 – 0,9 e 0,9 – 1 caracterizaram a expansão das áreas urbana e dos assentamentos rurais, para os três territórios municipais, ao longo do período de 20 anos. De maneira diferenciada e peculiar, as áreas referentes aos valores de **D<sub>2</sub>N** para a categoria 0,8 – 0,9, foram superiores às relacionadas aos valores de **D<sub>2</sub>N** da categoria 0,9 – 1, apontando que a expansão urbana associada aos assentamentos rurais (*Ejid*os) para os três municípios, foi superior à relacionada à expansão da área urbana (**Figura 35**).

Os valores de **D<sub>2</sub>N** das categorias 0,8 – 0,9 e 0,9 – 1, agregado aos valores da categoria 0,35 – 0,8, em contrapartida a redução dos valores da categoria 0 – 0,06, apontaram os municípios de Comitán de Domínguez e o de La Trinitária como os com maior e menor comprometimento antrópico, respectivamente, ao longo do período de 20 anos (**Figura 34**).

A análise do processo de antropização com base nos valores de **D<sub>2</sub>N**, para a área total da bacia hidrográfica e compartimentalizada para as frações das áreas dos municípios nela inseridas, permitem considerar os assentamentos rurais (*Ejid*os) como “núcleos de antropização”, denotando um “*driver force*” de mudança de uso da terra, com atuação e influência marcantes no delineamento da paisagem, em decorrência dos tipos de interações sócio-ambientais (território – atividade) contempladas.

A bacia hidrográfica do Rio Grande-Comitán tem sido caracterizada por acentuada mobilidade populacional relacionada aos assentamentos rurais, desde o processo de migração

incentivado pelo Estado Mexicano de Chiapas, no final do Século XIX, que induziu a criação do núcleo populacional de Tzisco da etnia *chuj*, para os refugiados guatemaltecos no município de La Trinitária (GORDILLO, 2018). Do mesmo modo, em meados do Século XX, com a questão da posse e doação de terras no México, e a criação dos núcleos *ejidais* (TOLEDO, 2015).

A bacia hidrográfica do Rio Grande-Comitán abrigava uma população total de 47.962 habitantes em relação ao número total de assentamentos (138), existentes nas frações das áreas dos territórios municipais de La Independencia, La Trinitária, Comitán de Domínguez e Las Margaritas, inseridas na mesma, em 2010, bem como, uma dinâmica populacional bastante diversificada relacionada aos assentamentos, no período de 10 anos (2000 – 2010) (**Quadro 5**).

Quadro 5. Distribuição do número de total habitantes em relação ao número total de assentamentos nas frações das áreas dos municípios inseridos na bacia hidrográfica do Rio Grande-Comitán, em 2000 e 2010. Em destaque o número de assentamentos, em 2010, localizados nas frações das áreas dos municípios inseridos na bacia hidrográfica (CONAPO, 2010).

Municipios inseridos na bacia hidrográfica	Número total de habitantes em relação ao número total de assentamentos		Número total de assentamentos
	2000	2010	2010
La Independencia	19.655	19.890	34
La Trinitária	16.853	17.204	47
Comitán de Domínguez	8.865	10.497	50
Las Margaritas	312	371	7
<b>Total</b>	<b>45.685</b>	<b>47.962</b>	<b>138</b>

A área territorial correspondente ao município de La Independencia concentrou o maior percentual, cerca de 41%, da população total de assentados, distribuída em 34 assentamentos (**Quadro 5**).

No território da bacia hidrográfica correspondente ao município de La Trinitária estava concentrado, ao redor de 36% da população total de assentados, distribuída em 47 assentamentos (**Quadro 5**), predominantemente, rurais.

A fração de área da bacia hidrográfica correspondente ao município de Comitán de Domínguez apresentava, cerca de 22% da população total de assentados, distribuída em 50 assentamentos (**Quadro 5**). A cidade de Comitán de Domínguez, caracterizada como o principal

núcleo urbano dessa área territorial, é considerada o principal polo receptor da população imigrante procedente da Guatemala e de outros países da América Central (BURGUETE & ROBLED0, 2001).

O território da bacia hidrográfica correspondente ao município de Las Margaritas concentrava, ao redor de 1% da população total, relacionada a 07 assentamentos (**Quadro 5**).

A ocupação e o delineamento do padrão espacial das frações de áreas dos territórios municipais e da bacia hidrográfica, refletem o desenvolvimento diferenciado das atividades econômicas e de serviços relacionados às comunidades, campesina e indígena, vinculadas aos assentamentos. Respondem, sobretudo, à dinâmica demográfica dos assentamentos, influenciando nas condições de vida, e nos processos de organização social dos mesmos.

O número total (138) assentamentos, em 2010, localizados nos territórios correspondentes aos municípios de Comitán de Domínguez, La Independencia, La Trinitária e de Las Margaritas, inseridos na bacia hidrográfica, foram espacializados com base na categorização dos mesmos em 05 (cinco) graus de marginalidade<sup>9</sup> (muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo) (**Figura 35**). Os graus de marginalidade atribuídos, foram categorizados com base em um indicador considerando os aspectos sócioeconômicos, renda per capita, mercado de trabalho, grau de escolaridade, acesso aos serviços de saúde, sistema de abastecimento de água e coleta de resíduos, etc (CONAPO, 2010).

Esta categorização permitiu identificar que 14 (10%) e 104 (75%) do número total dos assentamentos, em 2010, tinham suas populações submetidas a condições de muito alto e alto graus de marginalidade (**Figura 35**). Neste aspecto, podem ser destacadas as áreas territoriais correspondentes aos municípios de Comitán de Domínguez e de La Trinitária.

A área territorial do município de Comitán de Domínguez foi a identificada com valores de **D<sub>2</sub>N** que permitiram evidenciar o maior comprometimento da biodiversidade e de mudança no padrão espacial, decorrentes do processo de antropização, no período de 20 anos (1999- 2019). Contribuindo para o delineamento dessa condição da paisagem, em 2019, agrega-se ainda, a partir de 2010, a influência das ações antrópicas relacionadas ao maior número total (50) de assentamentos, dos quais, 04 e 37, com muito alto e alto graus de marginalidade, respectivamente (**Figura 35**).

---

<sup>9</sup> A marginalidade segundo Coronado, 2002 e o termo usado pela CONAPO, trata-se do acesso diferenciado da população aos benefícios do desenvolvimento, já CONAPO salienta os seguintes critérios para avaliar o grau de vulnerabilidade: acesso a educação; vivenda e ingressos.

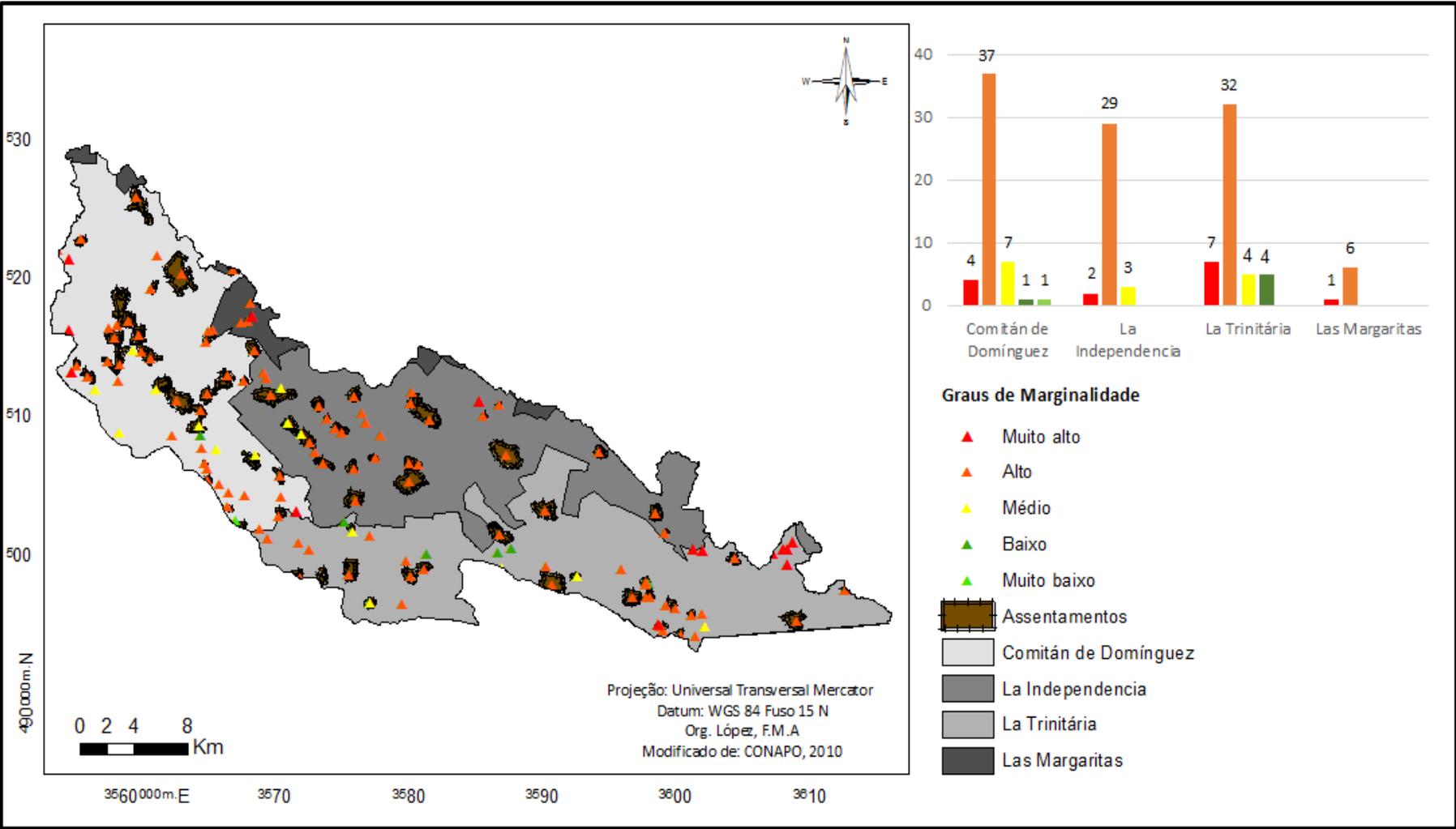


Figura 35. Representação espacial do número total (138) assentamentos, em 2010, localizados nos territórios correspondentes aos municípios de Comitán de Domínguez, La Independencia, La Trinitária e de Las Margaritas, inseridos na bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), com base na categorização dos mesmos em 05 (cinco) graus de marginalidade (muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo).

De modo contrário, a área territorial do município de La Trinitária foi identificada com valores de  $D_2N$  que permitiram evidenciar o menor comprometimento da biodiversidade e de mudança no padrão espacial, decorrente do processo de antropização, no período de 20 anos (1999 – 2019). Contribuindo para o delineamento dessa condição da paisagem agrega-se a influência do Parque Nacional Lagunas de Montebello, inserido no referido território municipal, considerado o maior fragmento de vegetação nativa na área total da bacia hidrográfica. Contribuindo para o delineamento dessa condição da paisagem, em 2019, agrega-se ainda, a partir de 2010, a influência das ações antrópicas relacionadas ao segundo maior número total (47) de assentamentos, dos quais, 07 e 32, com muito alto e alto grau de marginalidade, respectivamente (**Figura 35**).

Esta análise permite considerar que o contingente populacional relacionado aos assentamentos localizados na área territorial do município de Comitán de Domínguez, em 2010, estava submetido a maiores graus de marginalidade.

A análise aponta ainda para a questão “território e espaço”, enquanto direito do cidadão, referenciando alguns problemas vinculados ao conceito, generalizado, de exclusão (marginalidade) social, em sua eventual aderência ao mundo globalizado. Com essa finalidade podem ser propostos planos para: dinamizar os setores econômicos na ampliação do mercado de trabalho, estruturar planos habitacionais dirigidos às populações de baixa renda, acesso aos serviços sociais para as populações da periferia dos grandes centros, bem como, reduzir o fluxo migratório rural-urbano, retendo as populações nas áreas de origem (CORTÉS, 2002).

#### 4.7. Valores de $D_2N$ x Naturalidade ( $N_d$ )

Com base na interpretação das 05 categorias dos valores de  $D_2N$  e da representação espacial dos valores de Naturalidade ( $N_d$ ), foram classificados 05 (cinco) tipos de paisagens para a bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán: Próxima ao Natural, Alterada, Intensivamente Cultivada, Urbanizada com poucos elementos naturais, e Urbanizada (**Figura 36a, b, c**). O padrão espacial conhecido como configuração da paisagem, descreve as diferentes extensões e tipos (05) de paisagem da bacia hidrográfica, ao longo do período de 20 anos (**Figura 36d**).

Embora o padrão espacial tenha permanecido com a mesma diversidade de tipos de paisagem, no período de 20 anos, alguns cenários tendenciais podem ser apontados:

1. Redução da área de extensão da paisagem Próximo ao Natural, predominantemente, ocupada por vegetação nativa, reforçando o declínio da condição de Naturalidade da bacia hidrográfica, ao longo do período de 20 anos;

2. Aumento das áreas de extensão das paisagens Intensivamente Cultivada, Urbanizada com poucos elementos naturais, e Urbanizada, evidenciando a alteração do padrão antropogênico, via agricultura e urbanização, da bacia hidrográfica, no período de 20 anos e,

3. Aumento da complexidade da paisagem Urbanizada com poucos elementos naturais, agregada pela presença dos Assentamentos rurais (*Ejidros*). Estruturas complexas de territorialidade na estrutura agrária do México, ocupadas pelas comunidades camponesa e indígena, configurando frações dos territórios municipais diferenciadas em termos de tamanho dos lotes, período de criação e tipos das relações sócioespaciais territorializadas (estrutura produtiva, relações comerciais, turismo, entre outras).

A paisagem Alterada foi relacionada, predominantemente, às áreas ocupadas por pastagem para pecuária, que vem sendo, gradualmente, reduzida em sua extensão, ao longo do período de 20 anos, substituída por outros tipos de usos da terra (**Figura 36 a, b, c, d**).

O prognóstico relacionado à modificação progressiva do padrão espacial dos tipos de paisagem, para as próximas décadas, poderá atender a definição de uma configuração e quantidade ideais, entre o uso natural (paisagem Próximo ao Natural) e o uso antrópico (Paisagens Intensivamente Cultivada, Artificial com poucos elementos naturais e Artificial). I.e., a busca do equilíbrio entre conservação e antropização.

O limiar crítico para a expansão do processo de antropização pode ser inferido pela condição da Naturalidade da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, ao redor de 30% a partir de 2019 (**Figura 36d**). Entretanto, alguns aspectos indicam as incertezas sobre o tamanho apropriado da quantidade de biodiversidade, ao longo do tempo, que deve ser conservada: (1) por razões utilitárias, devido ao seu papel na prestação e manutenção de serviços ecossistêmicos, (2) para valores não utilitários, como valores intrínsecos e (3) por razões utilitárias, devido ao seu papel na manutenção da capacidade de adaptação à mudança (resiliência) e aos valores de opção e existência.

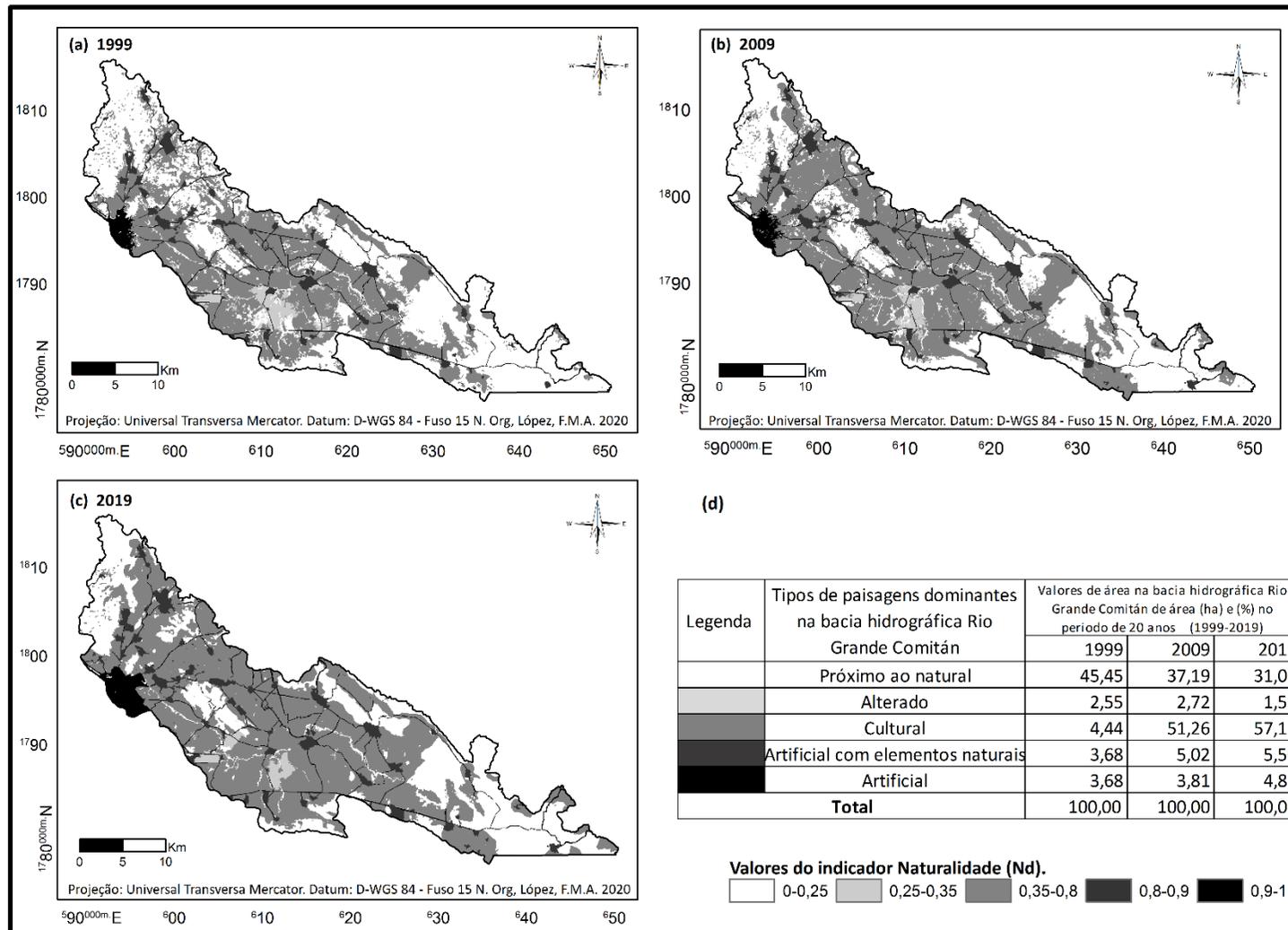


Figura 36. Representação espacial e valores de área (%) dos tipos de paisagem (Próximo ao Natural, Alterada, Intensivamente Cultivada, Urbanizada com poucos elementos naturais e Urbanizada), com base nas cinco categorias (0 – 0,25 / 0,25 – 0,35 / 0,35 – 1) (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 0,8 - 0,9 / 0,9 – 1), da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1919 – 2019).

#### 4.8. Valores de $D_2N$ x Distância ao Habitat Natural ( $D_n$ )

Os valores de  $D_n$  (Indicador de Distância ao Habitat Natural) foram considerados para subsidiar a classificação dos tipos de paisagens da bacia hidrográfica, bem como, os aspectos da influência do habitat natural mais próximo, com base na ampliação visual de uma área-core com 8.775ha, situada entre os territórios municipais de La Trinitária e de La Independencia, da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, ao longo do período de 20 anos (**Figuras 37 e 38A,B,C**).

Foram usados os dois esquemas de classificação com 03 (**Figuras 38D,E,F**) e 05 (**Figuras 37G,H,I**) categorias de valores de  $D_2N$  para uma análise comparativa entre os mesmos, identificando qual deles possibilitou melhor interpretação das influências da expansão das atividades antrópicas na configuração espacial da paisagem, no período de 20 anos.

O padrão espacial da área-core ampliada pode ser considerado bastante heterogêneo, em função dos 05 tipos de paisagens com grande variabilidade de formas e tamanhos, ao longo do período de 1999 – 2019, além de uma alta frequência de borda (**Figuras 38D, E e 38G, H**). A paisagem Intensivamente Cultivada da bacia hidrográfica, relacionada aos valores de  $D_2N$  entre 0,35 – 1 (**Figura 38F**) e a valores de  $D_2N$  entre 0,35 - 0,8 / 0,8 – 0,9 / 0,9 – 1, (**Figura 38 I**), em 2019, apresentou menor grau de fragmentação e pela maior área de extensão, enquanto que a paisagem Próxima ao Natural, relacionada a valores de  $D_2N$  entre 0 - 0,06 (**Figura 38F**).

As áreas nucleadas claras remanescentes na bacia hidrográfica, configuradas como habitats naturais, teoricamente sustentáveis, tornaram-se mais distantes entre si, ao longo e (**Figuras 37 e 38I**), em 2019, apresentou um decréscimo em sua área de extensão, além de estar, completamente, inserida e entremeada por mosaicos de usos antrópicos agrícolas e não-agrícolas, devido a expansão dos mesmos, no período de 20 anos. Evidenciam a redução da Naturalidade, em contrapartida, ao aumento das paisagens Intensivamente Cultivada e Artificial na bacia hidrográfica, ao longo do período de 20 anos (**Figuras 38 D, I**).

A representação espacial do processo de antropização para os dois esquemas de categorização dos valores de  $D_2N$  (**Figura 38**), apontam, de modo geral, a ocorrência de alguns cenários tendenciais para a bacia hidrográfica, conforme descritos a seguir:

1. Expansão das atividades antrópicas (agricultura e urbanização), em contrapartida à redução da naturalidade;

2. Perda de habitats naturais, redução do efeito de borda e da influência do habitat natural mais próximo, interferindo na extensão das áreas de forrageamento e distâncias de deslocamento das espécies de vida selvagem, apontando, ainda, para a perda da conectividade da bacia hidrográfica;

3. Valores de **D<sub>2</sub>N** para a categoria 0,06 – 0,35, relacionados a cobertura de solo por pastagens para pecuária, com a presença de poucos elementos naturais, podem ser considerados essenciais em amortizar a expansão e a influência das atividades antrópicas em relação ao componente natural da bacia hidrográfica, configurado pela categoria 0 – 0,06;

4. A agricultura intensiva se apresenta como o principal fator de pressão no processo de antropização, independente dos esquemas de categorização dos valores de **D<sub>2</sub>N** aplicados na análise da bacia hidrográfica;

5. A urbanização se agrega à agricultura intensiva na expansão e ocupação antrópica da bacia hidrográfica, para ambos esquemas de categorização dos valores de **D<sub>2</sub>N**. Entretanto, a categorização dos níveis intermediários (0,8 – 0,9 e 0,9 – 1) de valores de **D<sub>2</sub>N**, permitiu diferenciar a influência dos mesmos, associada aos *Ejid*os e a malha viária, respectivamente, com relação a modificação do padrão espacial dos habitats naturais na bacia hidrográfica;

6. O aumento do número e da área dos assentamentos rurais, ao longo do período de 20 anos, possibilita a consideração dos *Ejid*os como “núcleos de antropização da na bacia hidrográfica”, inserindo maior complexidade ao tipo de paisagem “Artificial com poucos elementos naturais”, particularmente, resultante das relações sócioespaciais territorializadas;

7. O padrão espacial da bacia hidrográfica permaneceu bastante heterogêneo, com 05 tipos de paisagens de grande variabilidade de formas e tamanhos, e com uma tendência à redução da frequência de borda, ao longo do período de 1999 – 2019.

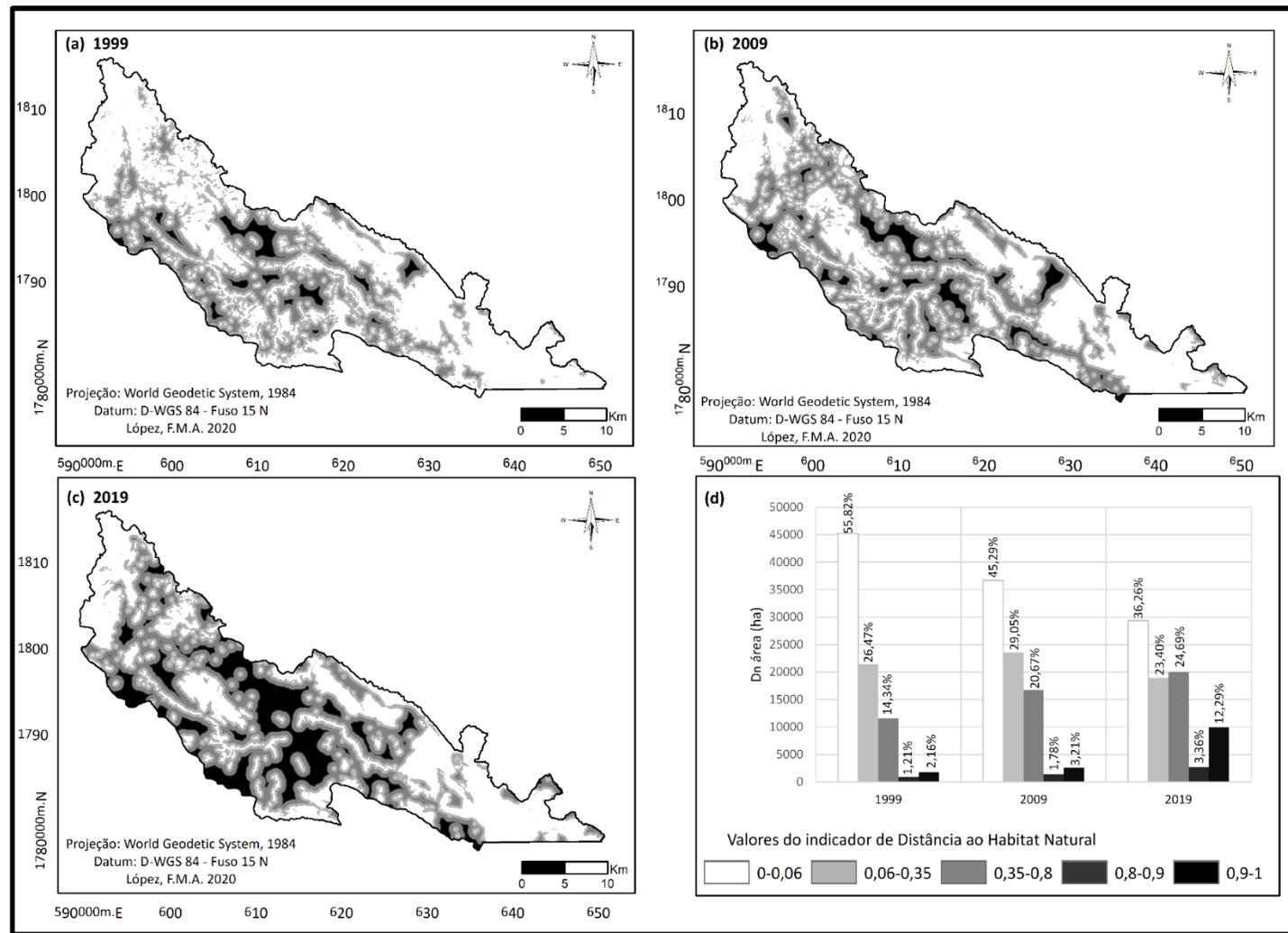


Figura 37. Representação espacial valores de área (%) dos tipos de paisagem do indicador Distância ao Habitat Natural ( $D_n$ ). Com base nas cinco categorias ( $0 - 0,06 / 0,06 - 0,35 / 0,35 - 0,8 - 0,9 / 0,9 - 1$ ), da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1999 – 2019).

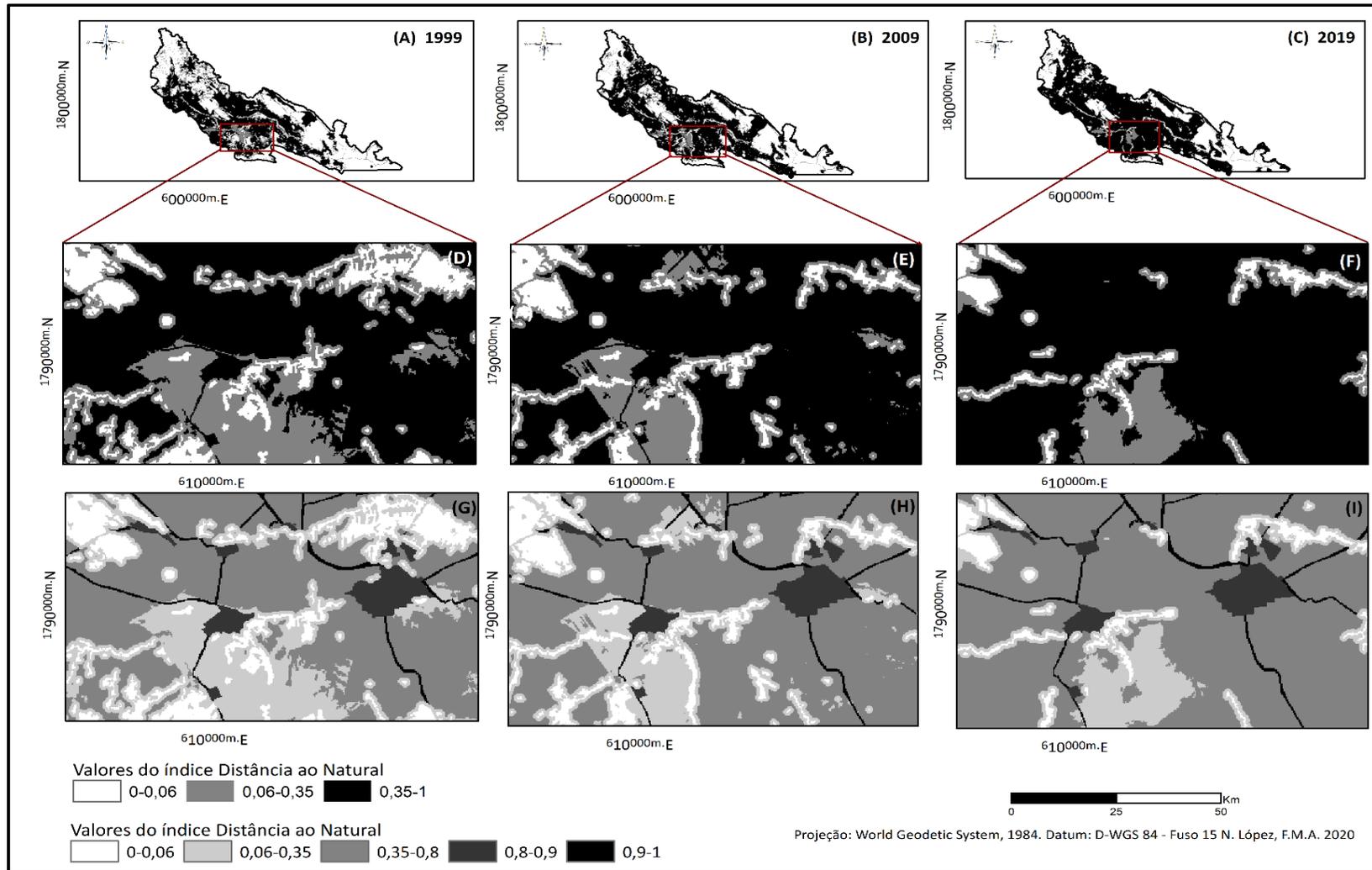


Figura 38. Representação espacial dos tipos de categorização (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 – 1) e (0 – 0,06 / 0,06 – 0,35 / 0,35 - 0,8 - 0,9 / 0,9 – 1) dos valores do Índice Distância ao Natural ( $D_2N$ ), para uma área-core da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán (Chiapas, México), ao longo do período de 20 anos (1919 – 2019).

A representação espacial ampliada de uma área-core selecionada da bacia hidrográfica (**Figura 39 C**), em 2019, foi extremamente eficiente em evidenciar mudanças do processo de antropização, bem como, em identificar habitats naturais remanescentes, relacionados aos núcleos de coloração clara (habitats naturais) da bacia hidrográfica submetidos ou não, à influência das atividades antrópicas, ao longo do período de 20 anos (1999 – 2019)

Esta possibilidade remete a proposição de estratégias de Políticas de Uso da Terra e de Proteção à Biodiversidade, bem como, de Estratégias de Usos da Terra para o Planejamento e Monitoramento Ambiental da bacia hidrográfica, com base na seleção de áreas naturais suscetíveis à influência das atividades antrópicas, particularmente, a partir de 2019 (**Figura 39 C**).

As estratégias poderão contemplar ações para garantir a conservação e/ou continuidade de fragmentos de vegetação natural imersos em uma matriz antrópica configurada pelos valores de **D<sub>2</sub>N** da categoria 0,35 – 1 (**Figura 39F 1**); Ou, alternativamente, embasadas em uma categorização de valores de **D<sub>2</sub>N** (0,35 – 0,8 / 0,8 – 0,9 / 0,9 -1) mais representativos em relação aos diferentes tipos de influências antrópicas, como por exemplo, proximidade aos assentamentos rurais (*Ejid*os) e/ou da malha viária (**Figura 39I 1**), além das atividades agrícolas no entorno dos mesmos.

De modo similar, a aplicação da categorização, mais simplificada dos valores de **D<sub>2</sub>N** para estratégias da conservação de fragmentos de vegetação natural, poderá contemplar ações para interrupção da utilização e conseqüente recuperação natural das áreas de pastagens, próximas aos mesmos (**Figura 39F 2**). Sobretudo, quando embasadas no conhecimento específico dos diferentes tipos de influências antrópicas, como por exemplo, proximidade aos assentamentos rurais (*Ejid*os) e/ou da malha viária (**Figura 39I 2**), além das atividades agrícolas no entorno dos fragmentos de vegetação natural.

Independentemente da alternativa de manejo considerada será fundamental o desenvolvimento de ações relacionadas aos aspectos da territorialidade e atitudes sociais por parte das comunidades indígena e campesina lotadas nos assentamentos rurais (*Ejid*os).

A utilização de escalas gráficas maiores aliada as cinco categorias de valores de **D<sub>2</sub>N**, possibilitaram evidenciar um maior nível de detalhamento do padrão espacial das frações territoriais dos municípios de Comitán de Domínguez, La Independencia, La Trinitária e de Las Margaritas, inseridas na área total da bacia hidrográfica do Rio Grande-Comitán.

O conhecimento detalhado da organização espacial destas áreas territoriais, particularmente em 2019 (**Figura 39**), configura-se como uma excelente ferramenta à implementação de estratégias preventivas para minimizar a continuidade do processo de antropização. Essas medidas possibilitam o direcionamento de esforços na seleção ou estabelecimento de áreas e/ou locais naturais protegidos, em que propostas para a conservação ambiental da bacia hidrográfica poderão ser efetuadas nos termos da legislação mexicana pertinente à Diretiva de Habitats Naturais. Contribuem, ainda, no planejamento e zoneamento ambiental, principalmente, das três unidades administrativas com maiores áreas de extensão inseridas na bacia hidrográfica.

Os resultados deste estudo evidenciaram uma importante experiência com relação à definição e a implementação de políticas de planejamento e conservação ambiental que visam impedir o processo de antropização na bacia hidrográfica do Rio Grande-Comitán.

A utilização do Índice de Distância ao Natural (**D<sub>2</sub>N**) neste caso de estudo, evidenciou condições de ser aplicada para outras unidades da paisagem, para subsidiar os processos de planejamento e monitoramento ambiental adequados, desde que embasados nas características locais das mudanças do uso e cobertura da terra.

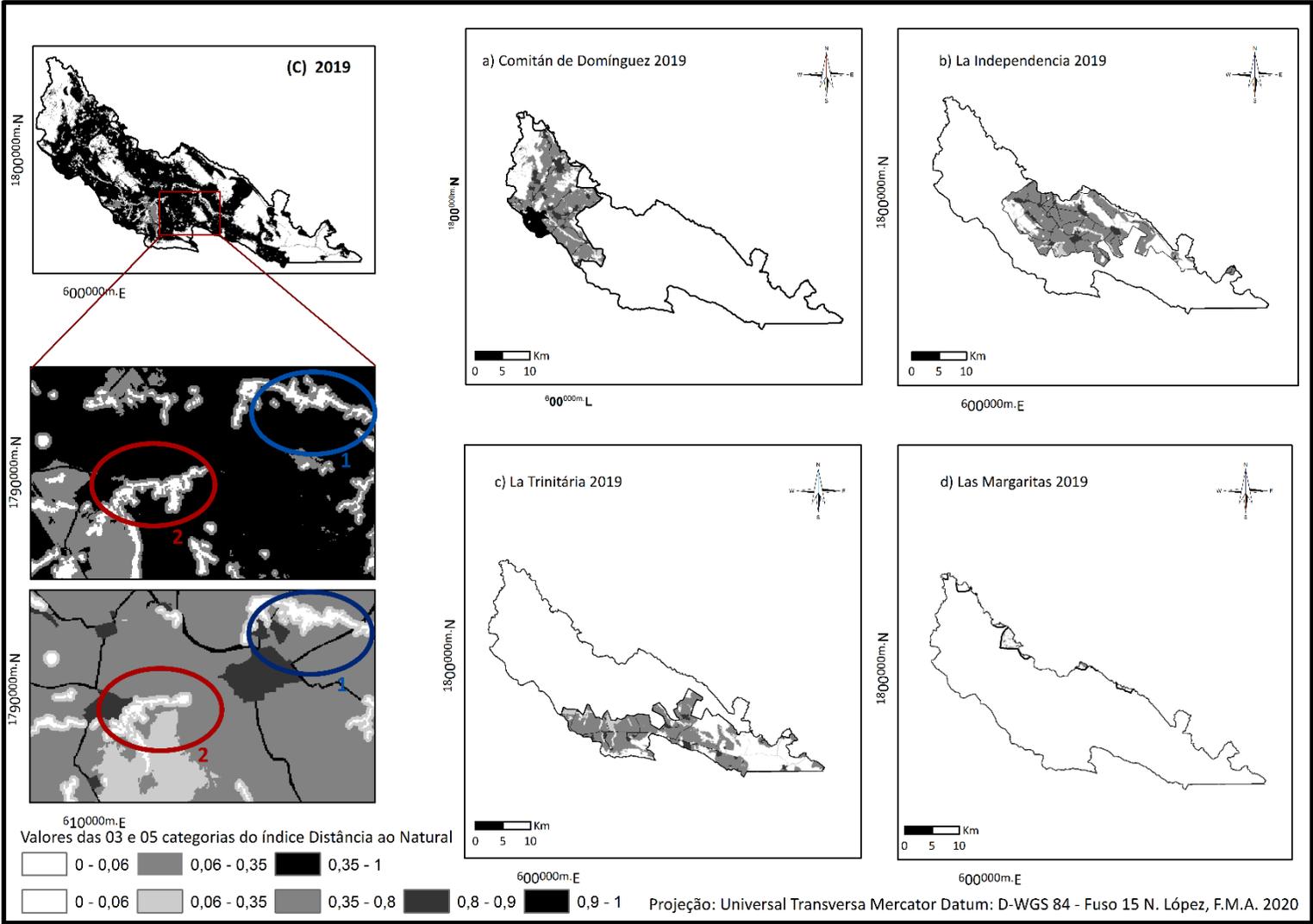


Figura 39. Seleção de áreas naturais suscetíveis à influencia das atividades antrópicas em 2019, para proposição de estratégias (1- azul, 2- vermelho) políticas do Uso da Terra e da Proteção à biodiversidade no Planejamento e Monitoramento Ambiental. No lado direito, o padrão espacial das frações territoriais em 2019 dos municípios inseridos na bacia hidrográfica Rio Grande Comitán, com base nas cinco categorias de valores D<sub>2</sub>N.

## 5. Conclusões

A bacia hidrográfica Rio Grande Comitán apresenta características peculiares em relação aos seus aspectos abióticos e bióticos, com a sua configuração biocultural marcada pelo contexto histórico, social e político. Como uma característica do padrão antropogênico, a área total dos usos antrópicos (agrícolas e não agrícolas) apresentou um aumento, ao longo do período de 20 anos., avaliado com base nos valores das áreas dos níveis de hemerobia (Próximo ao Natural, Alterado, Cultural, Artificial e Artificial com elementos naturais). A área da bacia hidrográfica ocupada pelos componentes naturais da paisagem, vem sendo, gradativamente, substituída por uma matriz antrópica agrícola, potencializada por diferentes tipos de manchas urbanas, como consequência da urbanização crescente, particularmente, associada à expansão dos assentamentos rurais (*Ejidros*).

Pode ser evidenciado o comprometimento da sustentabilidade da bacia hidrográfica, uma vez que o nível de hemerobia Próximo ao Natural, em 2019, ocupou cerca de 31% da área total da mesma. De modo similar, pode ser constatado o comprometimento das funções ecológicas do Parque Nacional Lagunas de Montebello, decorrente da influência do padrão espacial desigual de ocupação dos assentamentos rurais.

A bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán vem apresentando um grau alto e muito alto de vulnerabilidade, demandando a concepção de um planejamento socioambiental, devido a existência e expansão dos assentamentos rurais, ao longo do tempo. Os conflitos ambientais se agregam aos econômicos, resultantes da agricultura intensiva do milho e do cultivo do tomate, de grande interesse econômico na agricultura regional. Embora, o custo envolvido torne inacessível este último tipo de produção desenvolvido por uma pequena parcela de produtores, prevalece no cenário regional a ausência de uma produção agrícola equitativa e a instabilidade econômica.

Os resultados da aplicação do Índice de Distância do Natural (**D<sub>2</sub>N**), ao longo do período de 20 anos, permitiram evidenciar a dinâmica do processo de antropização da bacia hidrográfica do Rio Grande Comitán, em que a paisagem Próxima ao Natural foi reduzida e substituída pela paisagem antropogênica, relacionadas à expansão da agricultura e da urbanização. Os determinantes que

condicionaram o padrão espacial da bacia hidrográfica, em 2019, são mais relevantes na proposta de cenários futuros do que aqueles que operavam há 20 anos.

Os valores (**D<sub>2</sub>N**), ao longo do período de 20 anos, para a área da bacia hidrográfica e para os territórios municipais de Comitán de Domínguez, La Independencia e La Trinitária mostraram-se de fácil compreensão e interpretação, além de possibilitar condições comparativas no contexto internacional e nacional, uma vez que a base de cálculo do Índice está relacionada aos valores de usos da terra com diferentes temáticas e em diferentes escalas espaciais..

O Índice de Distância do Natural (**D<sub>2</sub>N**) demonstrou aplicabilidade no processo de tomada de decisão quanto ao planejamento e monitoramento ambiental de bacia hidrográfica, adicionando a questão do desenvolvimento de política de uso sustentável da terra

O limiar crítico do processo de antropização da bacia hidrográfica pode ser válido para um período de certezas quanto ao cenário político e socioeconômico do país, para permitir a expansão das ações desenvolvimentistas na bacia hidrográfica que serve um componente social crescente ao longo do tempo.

O componente social da paisagem da bacia hidrográfica (equipes técnica e administrativa, tomadores de decisão, comunidades campesina e indígena, populações urbanas dos territórios municipais, entre outras) tem, fundamentalmente, diferentes padrões locais para evidenciar a influência humana na biodiversidade e nos processos ecossistêmicos proporcionados aos mesmos. Como existe uma relação recíproca intrínseca entre cultura e estrutura da paisagem: “a cultura muda a paisagem, e a cultura é incorporada pela paisagem” (Nassauer, 1995), a interação entre a diversidade biológica e o componente social influenciame interferem no padrão espacial da paisagem da bacia hidrográfica, ao longo do tempo.

Torna-se fundamental a criação de políticas públicas que favoreçam o planejamento ambiental estratégico da bacia hidrográfica, em médio e longo prazo, particularmente, para a definição e concretização de estratégias de desenvolvimento que contemplem os municípios de Comitán de Domínguez, La Trinitária, La independência e Las Margaritas, na perspectiva do desenvolvimento econômico aliado à conservação das áreas naturais e, conseqüentemente, da melhoria da qualidade vida da população.

## 6. Referências bibliográficas

- ABDI H. WILLIAMS LYNNE, J. Principal Component Analysis. Vol. 2, July/August **John Wiley & Son s, Inc**, p. 433 – 459, 2010. Disponível em :<http://staff.ustc.edu.cn/~zwp/teach/MVA/abdi-awPCA2010.pdf> Acesso 19 de outubro, 2019.
- ACOSTA A, CARRANZA ML, GIANCOLA M. Landscape change and ecosystem classification in a municipal district of a small city (Isernia, Central Italy). **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 108: 323-335, 2005.
- ASCENSIO, GABRIEL. Los Rancheros de Chiapas durante el siglo XX. El de la oligarquía latifundista. México: UNAM, Instituto de investigaciones Antropológicas, **Multidisciplinarias**. 2009.
- AYALA-ORTIZ, DANTE ARIEL et al. Crisis Civilizatoria En El México Rural. [s.l: s.n.]. v. TOMO IV.
- ALMEIDA, DAYANA et al. Temporal change of Distance to Nature index for anthropogenic influence monitoring in a protected area and its buffer zone. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 91, n. March, p. 189–194, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.055>
- ALMEIDA, DAYANA. **Dinâmica do uso da terra e naturalidade do entorno da Floresta Nacional de Irati**. 96 f. Teses (Doutorado em Ciências) – Ecologia e Recursos Naturais Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2017.
- ALTIERI, Miguel Angel. Agroecologia: Bases científicas para uma agricultura sustentável. Montevideo, **Ed. Nordan-Comunidad**, 1999.
- ALTIERI, Miguel Angel. Agroecologia: princípios y estrategias para una agricultura sustentable en la América Latina del siglo XXI. In: GOMES de MOURA Emannel; CHAGAS FERREIRA AGUIAR Alana (Orgs.). **O desenvolvimento rural como forma de ampliação dos direitos do campo: princípios e tecnologias**. São Luís: UEMA, 2006.
- ANDREN, H. Nordic Society Oikos Effects of Habitat Fragmentation on Birds and Mammals in Landscapes with Different Proportions of Suitable Habitat: A Review. **OIKOS** v. 71, n. 3, p. 355–366, 1994.
- BANKS LEITE, C. PARDINI, R. TAMBOSI, L.R. PEARCE, W.D. BUENO, A. Using ecological thresholds to evaluate the costs and benefits of set-asides in a biodiversity hotspot. **SCIENCE** v. 345, pp. 1041-1045. DOI: [10.1126/science.1255768](https://doi.org/10.1126/science.1255768)
- BARDOMIANO, M. O. Sobre el comercio exterior mexicano y el TLCAN. **Economia informa**, v. 386, p. 77 – 82, 2014. DOI.org/[10.1016/S0185-0849\(14\)70431-1](https://doi.org/10.1016/S0185-0849(14)70431-1)
- BOTELLO, F. CORDERO, V.S.; HUERTA, M. A. O. Disponibilidad de hábitat adecuados para especies de mamíferos a escalas regional (estado de Guerrero) y nacional (México). **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 86, p. 226-237, 2015. <https://doi.org/10.7550/rmb.43353>
- BUNGE, VERÓNICA; REYES; JUAN ANTONIO. Características sociales de las áreas naturales protegidas federales y su relación con la conservación ambiental. Luisa Osorio. In: Ortiz, Dante Ariel
- BLIGNAUT, JAMES; ARONSON; JAMES; DE GROOT, RUDOLF. Restoration of natural capital: A key strategy on the path to sustainability. **Ecological Engineering**, v. 65, p. 54-61, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.003>.

- BLASI C, SMIRAGLIA D, CARRANZA ML. Analisi multi temporale del paesaggio all'internodi un sistema di classificazione gerarchica del territorio. Il caso dei Monti Lepini (Italia Centrale). **Informatore Botanico Italiano**, v. 35 (1), p. 31-41, 2003.
- CARLBERG, J.; RUDE, J. Intercambio de comercio agroalimentario entre Canada y México bajo el Tratado de Libre Comercio. **Revista Mexicana de Agronegocios**, v. 8 , p. 282 – 293, 2004.
- CASTAÑER, A.M.A.; NIETO, U.S. La migración laboral México – Estados Unidos a veinte años del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. **Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales**. Universidad Nacional Autónoma de México Nueva Época. Núm. 224 p. 279-314, 2015.
- COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS Y SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (CONANP-SEMARNAT), Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Lagunas de Montebello, México, 2007.
- COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE), 2012, Estudio para conocer la calidad de agua de las Lagunas de Montebello, Chiapas, Tomo I, Hidrometeorología, Reporte Técnico.
- COMITÉ NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA) Plan de gestión da la cuenca del Rio Grande Comitán lagunas de Montebello, Chiapas México. Gobierno del Estado de Chiapas. **Instituto Estatal del Agua**, 2007.
- COMPLEJO, E. L.; CHINKULTIC, E. D. E.; NAVARRETE, C. 58 El Complejo Escénico De Chinkultic, Chiapas. v. 2006, p. 987–1006, 2007.
- CORONADO, C. B. Revisión de los índices de marginación elaborados por el CONAPO. **Estudios demográficos y urbanos** , v.25, p. 175-217, 2010. Disponível em: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S018672102010000100175&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018672102010000100175&lng=es&nrm=iso) Acesso em 13 de setembro, 2020.
- CORTÉS, FERNANDO. Consideraciones sobre la marginalidad, marginación, pobreza y desigualdad en la distribución del ingreso. **Papeles de Población**, vol.8, no.31, Toluca, pp: 9–24, 2002. Disponível em: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S140574252002000100002&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140574252002000100002&lng=es&nrm=iso). ISSN 2448-7147> Acesso em 13 de setembro, 2020.
- COSTA, R.T., GONÇALVES, C.F., FUSHITA, A.T. DOS SANTOS, J.E. Land Use/Cover and Naturalness Changes for Watershed Environmental Management (Southeastern Brazil). **Journal of Geoscience and Environment Protection**, v. 5, p. 1-14, 2017. <https://doi.org/10.4236/gep.2017.511001>
- CRUZ, A.C.A., SILVEIRA, V.C.P. Dinámica de los núcleos agrarios en México. **Extensão Rural** 24. 2017. <https://doi.org/10.5902/2318179622814>
- DUTRA, M. et al. Análise do estado de decomposição e fragmentação da paisagem costeira (abordagem geográfica) do Rio Grande do Sul – Brasil. **Geographia Meridionalis**, v. 3, p. 321 348, 2017. <https://doi.org/10.15210/gm.v3i3.12250>
- EASTMOND, A.; FAUST, B. Farmers, fires and forests: a green alternative to shifting cultivation for conservation of the Maya forest?. **Landscape and Urban Planning**, v.74, p. 267 – 284, 2006.
- FLORES RODRÍGUEZ, C. E. Suelo ejidal en México: un acercamiento al origen y destino del suelo ejidal en México. De lo comunal agrario a lo privado urbano. **Cuadernos de investigación Urbanística**, n. 57, 2008.

- FUSHITA, A.T., SANTOS, J.E., SOUZA, I.M.M., ROMANINI, E. AND COSTA, R.T. Landscape Structural Indicators as a Tool to Assess Land Use Changes in Planning for Sub-Basin Sustainability (Southeastern Brazil). **Journal of Water Resource and Protection**, v. 8, p. 482-492, 2016.  
<http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2016.84041>
- GARCÍA, A. D. **Capacidades locales para la conservación de los Lagos de Montebello**. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Nacional Autónoma de México, México, D. F., 2015.
- GARCÍA, DANIELA ÁVILA. **Conservación de los Lagos de Montebello**. Programa de posgrados en Ciencias Biológicas, México, 2017.
- GARCÍA, E. S. P. **Análisis de la vulnerabilidad de la población ante el deterioro de los sistemas de abastecimiento de agua en la cuenca del Río Grande de Comitán, Chiapas**. 174 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de la Sostenibilidad) – Ecología, Universidade Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2018.
- GLIESSMAN, STEPHEN R. Agroecología: Procesos ecológicos em agricultura sostenible. **Turrialba, C.R. CATIE**, p. 31, 2001.
- GIRÓN, A. Zonas libres de comercio ¿Un camino para el desarrollo?. **Problemas del desarrollo**, v 46, p. 3-9, 2015.
- GORDILLO, C. C. **La dinámica del conflicto socioterritorial en la gestión del Centro Ecoturístico Mame de Tzisco, La Trinitaria, Chiapas**. 146 f. Dissertação (Maestra en Desarrollo Local) Universidade Nacional Autónoma de Chiapas, San Cristóbal, 2018.
- HABERL, H., WACKERNAGEL, M. AND WRBKA, T. Land Use and Sustainability Indicators. An Introduction. **Land Use Policy**, v. 21, p. 193-198, 2004.  
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2003.10.004>
- HARO, O. G. A. **Cambios en la estructura de la comunidad Ítica a lo largo de un gradiente de perturbación ambiental, en el Río Grande Comitán, Chiapas**. 2017. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2017.
- HEINK, U. AND KOWARIK, I. What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. **Ecological Indicators**, v. 10, p. 584-593, 2010.  
<https://doi:10.1016/j.ecolind.2009.09.009>
- HILL, M.O., ROY, D.B. AND THOMPSON, K. Hemeroby, Urbanity and Ruderality: Bioindicators of Disturbance and Human Impact. **Journal of Applied Ecology**, v. 39, p. 708-720, 2002.  
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2002.00746.x>
- HORVATH, ANNA; LÓPEZ, ROBERTO VIDAL; AGUILAR, RAUSEL SARMIENTO. Mamíferos del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas, México. **Revista Mexicana de Mastozoología** (Nueva Epoca), [s. l.], v. 5, n. 1, p. 6, 2001.
- IMPLAN (Instituto Nacional de planeación – Comitán). Humedal Comitán, “La Ciénega”, estado actual y su conservación. **IMPLAN**, Comitán de Domínguez, 2018.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI). Conjunto de datos vectoriales: Red Hidrológica escala 1:50000, **Edición 2.0** Subcuenca RH30GI-R, 2007.

- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI). Conjunto de datos vectoriales: Usos de suelo y vegetación escala 1:50000, **Edición 2010**.
- INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE PROTECTED AREAS: CATEGORY II NATIONAL PARK. **IUCN.ORG**. 13 abril, 2020. Disponível em <https://www.iucn.org/theme/protected-areas/about/protected-areas-categories/category-ii-national-park> Acesso em 13 de abril de 2020.
- JALAS, J. Hemerobe und hemerochore pflanzenarten: ein terminologischer reformversuch. **Acta Societatis pro Fauna et Flora Fennica, Tilgmann**, v. 72, p. 1–15, 1955.
- JUÁREZ, PEDRO; MAYORAL, ROSER; RAMÍREZ, BENITO. Impacto de la Reforma Agraria neoliberal en una región campesina de México. Resultados en el objetivo de potenciar el mercado de tierras. **Cuadernos Geográficos**, [s. l.], n. 38, p. 31–44, 2006.
- KIEDRZYŃSKI, M., KIEDRZYŃSKA, E., WITOSŁAWSKI, P., URBANIAK, M. AND KUROWSKI, J.K. Historical Land Use, Actual Vegetation, and the Hemeroby Levels in Ecological Evaluation of an Urban River Valley in Perspective of Its Rehabilitation Plan. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 23, p. 109-117, 2014.
- LARTIGUE, LUCIANA. La Revolución Mexicana. 1. **Ed. Ocean Sur**, México, 2011.
- LEAL, A. C. Planejamento ambiental de bacias hidrográficas como instrumento para o gerenciamento de recursos hídricos. **Entre-Lugar**, v. 3, n. 6, p. 65–84, 2012.
- LEOPOLD, STARKER. Vegetation Zones of Mexico. **Ecology**, v. 31 n. 4, p. 507-518, 1950.
- LORENZO, C. CITALÁN, J.B.; SÁNTIZ, E.; NAVARRETE, D. Diversidade y conservación de los maíferos terrestres de Chiapas. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v,88, p. 735-754,2017.
- MAZZUCO, G. G. et al. Indicadores de Naturalidade da Paisagem Aplicados no Monitoramento da Qualidade Ambiental de Mananciais (Indicators of landscape naturalness applied for monitoring the environmental quality of water sources). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 5, p. 1406, 2017.
- MARQUES, A. F. **Análise da paisagem e dinâmicas territoriais na bacia hidrográfica do Rio Pardo (RS)**. 90 f. Tese (Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP. 2012.
- MARTÍNEZ, CUERO JULIETA; GARCÍA RAMÍREZ, R. F. (ED.). **Desagrarización del campo mexicano a partir de la liberalización económica. El caso de la producción de maíz en Chiapas**. España, 2011. Disponível em: <[http://xiiiirem.ehu.es/entry/content/247/cod\\_048.pdf](http://xiiiirem.ehu.es/entry/content/247/cod_048.pdf)>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- MELENDEZ-PASTOR, I. et al., Socioeconomic factors influencing land cover changes in rural areas: The case of the Sierra de Albarracín (Spain). **Applied Geography**, v. 52, p. 34-45, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.04.013>.
- MEZZOMO, M. M.; GASPARINI, G. S. Estudo da alteração antrópica (hemerobia) da bacia hidrográfica do Rio Mourão - PR. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 36, n. 2014, p. 280–301, 2016.
- MILLENNIUM, E. A. B. U.-W. et al. Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis. [S.l.]: **WRI**, 2005.

- MORA LUCY P., et al. Unidades geomorfológicas de la cuenca del Río Grande de Comitán, Lagos de Montebello, Chiapas-México. **Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana**, 2016. p. 377.
- MOREIRA, M. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 4.ed. [S.l.]: **UFV**, p. 422, 2011.
- OLAK, A.H.C., ROTHERHAM, I.D. AND ALIKOGLU, C. Combining 'Naturalness Concepts' with Close-to Nature Silviculture. **Forstwissenschaftliches Centralblatt**, v. 122, p. 421-431, 2003. <https://doi.org/10.1007/s10342-003-0007-1>
- OLEA, O.S. **Análisis del impacto de la actividad agrícola en el agua subterránea en la zona de La Trinitaria, Chiapas**. 174 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de la Tierra) – Posgrado em Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México. 2015.
- OLIVERA, M.V. Chiapas mexicana. **Península**, v.3, p. 21 – 45, 2008. Disponível em <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S187057662008000200002&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S187057662008000200002&lng=es&nrm=iso)>. acesso 11 setembro de 2020.
- O'NEILL, R.V., KRUMMEL, J.R., GARDNER, R.H., SUGIHARA, G., JACKSON, B., DE ANGELIS, D.L., MILNE, B.T., TURNER, M.G., ZYGMUNT, B., CHRISTENSEN, S.W., DALE, V.H. AND GRAHAM, R.L. Indices of Landscape Pattern. **Landscape Ecology**, v. 3, p. 153-162, 2007. <https://doi.org/10.1007/BF00162741>
- OTAVO, S.; ECHEVERRÍA, C. Fragmentação progresica e perda de habitat de bosques naturales em uno delos hotspot mundiales de biodiversidad. **Revista mexicana de biodiversidad**, v. 88, p. 924-935, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.041>
- PAIVA, MARLLUS HENRIQUE RIBEIRO; CARMO, DIRLANE FÁTIMA; PRADO, RACHEL BARDY. Avaliação do impacto de iniciativas conservacionistas no sertão de bosques naturales em viço ecossistêmico de controle à erosão hídrica. **Interações (Campo Grande)**, v. 46, n. 2, p. 702–707, 2018. <https://doi.org/10.20435/inter.v19i1.1494>
- PEREIRA HM, LEADLEY PW, PROENÇA V, ALKEMADE R, SCHARLEMANN JPW, FERNANDEZ-MANJARRÉS JF, ARAÚJO MB, BALVANERA P, BIGGS R, CHEUNG WW, CHINI L, COOPER HD, GILMAN E.L, GUÉNETTE S, HURTT GC, HUNTINGTON HP, MACE GM, OBERDORFF T, REVENGA C, RODRIGUES P, SCHOLLES R J, SUMAILA UR, WALPOLE M. Scenarios for global biodiversity in the 21st Century. **Science**, v. 330 p. 1496-1501, 2010.
- PÉREZ LÓPEZ HERNÁN et al. Caracterización y diagnóstico del río Grande de Comitán, Estado de Chiapas en la región Frontera Sur. **Comité de cuenca río Grande Lagunas de Montebello**, México, 2007.
- PÉREZ CASTAÑEDA, JUAN; MACKINLAY GROHMANN, HORACIO. ¿Existe aún la propiedad social agraria en México? **Polis. Investigación y Análisis Sociopolítico y Psicosocial**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 45–82, 2015.
- PEREZ-SOBA M, PETIT S, JONES L, BERTRAND N, BRIQUEL V, OMODEI-ZORINI L, CONTINI C, HELMING K, FARRINGTON JH, MOSSELLO MT, WASCHER D, KIENAST F, DE GROOT R. Land use functions - a multifunctionality approach to assess the impact of land use changes on land use sustainability. In: Helming K, Perez-Soba M, Tabbush P. **Sustainability impact assessment of land-use changes**. Springer Berlin Heidelberg, p. 375 404, 2008.

- PIRES, J. S. R. et al. Gestão biorregional: uma abordagem conceitual para o manejo de paisagens. In **Faces da Polissemia da paisagem: Ecologia, planejamento e percepção**. Org. Santos, J.E., Cavalheiro, F. Pires, J.S.R. Oliveira, C.H., Pires, A.M.Z.C.R.-São Carlos: RiMA, 2004.
- PRINCIPAL COMPONENT METHODS IN R: PRACTICAL GUIDE. **PCA - Principal Component Analysis. Essentials Statistical Tools for high throughout Data Analysis (STHDA)**. <http://www.sthda.com/english/articles/31-principal-component-methods-in-r-practical-guide/112-pca-principal-component-analysis-essentials/#biplot>
- PONCE, L. E. BARRERA, C.L.; FERNÁNDEZ, A. M. El sistema milpa Roza, Tumba y Quema de los Mayas Itzá de San Andrés y San José, Petén Guatemala. **Ra Ximhai**, v. 8, p. 71 – 92, 2012.
- RAMSAR. Ficha informativa de los humedales RAMSAR. 2003.
- REIF, A. AND WALENTOWSKI, H. The Assessment of Naturalness and Its Role for Nature Conservation and Forestry in Europe. **Waldökologie Online**, 6, 63-76, 2008.
- RIVERA, L.S. **Uso de fertilizantes nitrogenados en la cuenca del Río Grande de Comitán. La lixiviación representa un problema ambiental?** 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Posgrado em Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2017.
- ROMANINI, E., FUSHITA, A.T. AND DOS SANTOS, J.E. An Approach to Environmental Planning and Sustainable Management of Watersheds and Municipalities in Southeastern Brazil. **Open Journal of Ecology**, v. 6, p. 667-685, 2016. <http://dx.doi.org/10.4236/oje.2016.611062>
- ROMEIRO, A. R. Avaliação e contabilização de impactos ambientais. (org.) Campinas, SP: **Editora da UNICAMP**, São Paulo, p. 255, 2004.
- RÜDISSER, J. et al. Distance to nature? a new biodiversity relevant environmental indicator set at the landscape level. **Ecological Indicators**, Elsevier, v. 15, n. 1, p. 208–216, 2012.
- RUIZ, M. E. Las canteras de Chinkultic, Chiapas, México. **VI Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala**, 1992, v. 1992, p. 454–461, 1993.
- RUIZ, M.C. ; FLORES, H.G.H.; CARMONA, E.M. La regulación de la participación social en la políticas públicas medioambientales. **Serbiluz**, n. 13 p. 900-920, 2016.
- SALAZAR, J. LUIS RANGEL et al. De Sotobosque en el Parque Nacional Lagos De Montebello, Chiapas, México. **Most**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 479–495, 2009.
- SALAZAR, E.; MENDOZA, J.; GAONA, S.O.; QUEJ, V.K. MIHART. H. Evaluación de la conectividad del paisaje en la región Puuc-Chenes, México, con base en los requerimientos de hábitat del jaguar (*Panthera onca*). **Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía**, v. 2017, p. 101;115, 2017. <https://doi.org/10.14350/rig.52210>
- SALLES, M. H. D. et al. Avaliação simplificada de impactos ambientais na bacia do alto Sorocaba (SP). **Revista de Estudos Ambientais**, v. 10, n. 1, p. 6–20, 2018.
- SAGARPA-FIRCO. Plan Rector de Producción y Conservación, Microcuenca Los Riegos, Comitán Chiapas. 2007.
- SÁNCHEZ, J. C. M.; RUIZ, C.C. Panorama de los Ejidos y Comuniades Agrarias en México. **Agricultura, Sociedad y Desarrollo**, v. 14, n.1, p. 125 – 152, 2017.

- SÁNCHEZ, E. C.; ESPINOSA, M. G.; MARCIAL, N.R.; GUTIÉRREZ, D.A.N.; FARRERA, M.A.P. Riqueza de espécies arbóreas en Chiapas: estimaciones a partir de datos herbarios e inventarios florísticos. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 88, p. 832-844, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.015>
- SANTOS, M. **Metamorfose do Espaço Habitado: Fundamento Teórico Metodológico da Geografia**. São Paulo, EDUSP, 2008.
- SANTOS, J.E. et al. Agriculture and Forest Transition: Understanding of Land Use Change in a Cultural Landscape. **Open Journal of Applied Sciences**, v. 05, p. 797-807, 2015.
- SEMARNAT. Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial de los municipios de la subcuenca del Río Grande y del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas. S-D. Disponível em: [http://www.ecosur.mx/sitios/docs/POET/POET\\_CRG/Resumen\\_Ejecutivo\\_POET\\_CRG.pdf](http://www.ecosur.mx/sitios/docs/POET/POET_CRG/Resumen_Ejecutivo_POET_CRG.pdf) acesso: 15 de janeiro 2018.
- SEMARNAT. Perspectivas del medio ambiente en México: GEO, 2004 México. México, D.F. Primera ed. 2004.
- SECRETARIA DE MÉDIO AMBIENTE E HISTÓRIA NATURAL. Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Subcuenca da Rio Grande y Parque Nacional Lagunas de Montebello. Disponível em: <http://www.bitacora.semahn.chiapas.gob.mx/oet/> Acceso en: 04 de mayo de 2016.
- STEINHARDT U., HERZOG F., LAUSCH A., MÜLLER E., LEHMANN S. Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation. - In: Pykh, Y.A., Hyatt, D.E., Lenz, R.J. (eds): **Environmental Indices – System Analysis Approach**. Oxford, EOLSS Publ., p.237 – 254, 1999.
- SUKOPP, H. The Influence of Man on the Vegetation. **Vegetation**, v. 17, p. 360-371, 1969. <https://doi.org/10.1007/BF01965917>
- TALIARINE, B. A.; CORTÉS, V. J. A. Comparação entre as legislações ambientais do Brasil e do México, bem como sua relação com o agronegócio (Comparison between the environmental legislation of Brazil and Mexico, regarding agribusinesses). **Perspectiva em Educação, Gestão & Tecnologia**, v. 3, n. 5, p. 1–10, 2014.
- TESTI, A.G.R.V.D., FANELLI, G., et al. Characterizing River Habitat Quality Using Plant and Animal Bioindicators: A Case Study of Tirino River (Abruzzo Region, Central Italy). **Ecological Indicators**, v. 20, p. 24-33, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.01.027>
- TOLEDO, MARÍA ANTONIETA ZÁRATE. **Tierra, Bosque y agua en las Lagunas de Montebello: Procesos espaciales y disputas por los recursos en Ojo de Agua, Chiapas**. Tesis de doctorado. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. Guadalajara, Jalisco, 2015.
- TOLEDO, VÍCTOR. Repensar la conservación: ¿áreas naturales protegidas o estrategia bioregional? **Gaceta ecológica**, [s. l.], v. 77, p. 67–83, 2005.
- TORO, C. J.; VALDELAMAR, L. M. CEBALLOS, R.M. Diversidad genética em grupo de mono aulladores de mato (*Alouatta palliata mexicana*) en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (Veracruz, México). **Revista mexicana de biodiversidad**, v. 87, p. 1069-1079, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.07.003>
- TOSONI, G. A. Tratados de libre comercio, crecimiento y producto potencial en Chile, México y Perú. **Economía UNAM**, v. 14 p. 24 – 46, 2017.

VALDIVIA, N.A.G. POZO, C. GAONA, S.O, FERGUSON, G. CAMBRANIS, E. LARA, O. HERNÁNDEZ, I.P. MENDOZA, A.P. KAMPICHLER, C. Nymphalidae frugívoras (Lepidoptera: Papilionoidea) asociadas a un ecosistema agropecuario y de bosque tropical lluvioso en un paisaje del sureste de México. **Revista mexicana de biodiversidad**, v. 87, p. 451-464, 2016.

VELÁZQUEZ, A. J. **Evaluación del transporte de sedimentos y la calidad del agua utilizando SWAT, en el Río Grande de Comitán, Chiapas**. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Limnologia) – Pós-graduação em Ciências del Mar y Limnologia, Universidade Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2017.

WALZ, U. & STEIN, C. Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany. **Journal for Nature Conservation**, v. 22 p.279–289, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnc.2014.01.007>

WINTER, S. Forest Naturalness Assessment as a Component of Biodiversity Monitoring and Conservation Management. **Forestry**, v. 85, p. 293-304, 2012.  
<https://doi.org/10.1093/forestry/cps004>

WRBKA T, ERB KH, SCHULZ NB, PETERSEIL J, HAHN C, HABERL H. Linking pattern and process in cultural landscapes. An empirical study based on spatially explicit indicators. **Land Use Policy**, v. 21, p. 289-306, 2004.