



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Dinâmica da Cobertura da Terra nas Bacias Hidrográficas na Sierra Maestra. Uma Análise do Período 1995 – 2023

Alberto de las Mercedes Beyris Mazar¹, José Abelardo Planas Fajardo², Euclides Fornaris Gómez³, Elianne Calderón Montoya⁴, Liliana Gómez Luna⁵

¹Doutorando do programa de Ciências Ambientais da *Universidad de Oriente* – Pesquisador Agregado do *Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad* (Bioeco), Santiago de Cuba, beyris@bioeco.cu, beyris987@gmail.com ²Doutor em Ciências, Pesquisador titular do *Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad* (Bioeco), Santiago de Cuba, jplanas@bioeco.cu ³Doutorando do programa de Ciências Ambientais da *Universidad de Oriente* – Pesquisador Auxiliar do *Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad* (Bioeco), Santiago de Cuba, euclides@bioeco.cu ⁴Aspirante a pesquisador do *Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad* (Bioeco), Santiago de Cuba, elianne@bioeco.cu ⁵Doutora em Ciências, Pesquisadora Titular do *Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado* (CNEA), Coordenadora do Programa de Doutorado em Ciências Ambientais da *Universidad de Oriente*, lilianag@uo.edu.cu

Artigo recebido em 26/04/2024 e aceito em 07/11/2024

RESUMO

O conhecimento da dinâmica da cobertura do solo é uma componente essencial para o ordenamento, gestão e planejamento de um território, constitui a base para fazer previsões de mudanças no futuro. As bacias estudadas estão localizadas na encosta sul da Serra Maestra, no município de Guamá, na província de Santiago de Cuba. Estas abrangem uma área de 213 km² e são as mais importantes do território do ponto de vista social e económico, devido às atividades agrícolas aí desenvolvidas, embora apresentem limitações devido à complexidade do relevo. O presente trabalho centra-se num estudo comparativo para identificar as mudanças de cobertura do solo ocorridas entre 1995 e 2023, para o qual foi utilizado o mapa de cobertura do solo de 1995, desenvolvido a partir de fotografias aéreas na escala de 1: 15.000. Para o ano de 2023, o supervisionado, foi realizada a classificação das imagens multiespectrais Sentinel, utilizando sistemas de informação geográfica de código aberto (SAGA e QGIS). Como resultado, são obtidas as taxas dos diferentes tipos de cobertura do solo.

Palavras chaves: cobertura e uso da terra, bacia hidrográfica, Sierra Maestra

Land Cover Dynamics in River Basins in the Sierra Maestra. An Analysis of the Period 1995–2023

ABSTRACT

Knowledge of the dynamics of land cover is an essential component for the ordering, management and planning of a territory, it constitutes the basis for making predictions of changes in the future. The basins studied are located on the southern slope of the Sierra Maestra, in the Guamá municipality of the Santiago de Cuba province. These cover an area of 213 km² and are the most important in the territory from a social and economic point of view, due to the agricultural activities carried out there, although they present limitations due to the complexity of the relief. The present work focuses on a comparative study to identify the land cover changes that occurred between 1995 and 2023, for which the 1995 land cover map was used, developed from aerial photographs at a scale of 1: 15,000. For the year 2023, the supervised classification of Sentinel multispectral images was carried out, using open source geographic information systems (SAGA and QGIS). As a result, the rates and maps of change of the different types of land cover are obtained.

Keywords: land use, land cover, hydrographic basin, Sierra Maestra,

Introdução

O conhecimento da dinâmica da cobertura do solo é uma componente essencial para o ordenamento, gestão e planejamento do território. Isto constitui a base para fazer previsões de mudanças futuras. São vários os fatores ambientais que afetam direta e indiretamente a alteração da cobertura de uma bacia hidrográfica; aquelas que estão relacionadas com as dinâmicas demográficas, económicas e socioculturais que se manifestam a nível global. As mudanças contemporâneas na cobertura do solo têm frequentemente consequências adversas quando implementadas sem uma base científica sólida.

A nível global, a tendência crescente do uso da terra centrou-se, dentre outros usos, na agricultura, aumentando em mais de 200.000 km² (PIR, 2019) entre os anos 2000 e 2010. Esta dinâmica de consumo de terra não é uniforme; experimenta diferenças espaciais por regiões geográficas (FAO, 2011). Os efeitos negativos desta tendência são agravados nas regiões de terras áridas, onde uma pequena intensificação do uso pode causar uma mudança significativa no escoamento para muitas bacias hidrográficas (CNULD, 2017). A redução ou eliminação da cobertura vegetal ou remoção do solo provoca alterações na sua estrutura e instabilidade, o que afeta o aumento do escoamento e a probabilidade de ocorrência de deslizamentos de terra (Villalón, Rosabal, Beyris, Calderón, 2023), o que representa um grave perigo para a população.

A nível global, regional e local, um grande número de factores ambientais, demográficos, económicos e socioculturais influenciam a mudança no uso da terra, que poderia ser chamada de antropogénica. Sin embargo, actualmente, el calentamiento global antropogénico, que provoca e intensifica el cambio climático, está ganando mucho espacio en las redes sociales y la geopolítica global, según Pivatto & Limberger (2023). Um dos principais factores é a conversão de florestas em áreas agrícolas (Rodríguez & Alonso, 2021), entre outras atividades. Por outro lado, existem outros factores como os factores físicos que têm impacto na mudança de cobertura, entre os quais são mencionados: clima e tipo de solo (LÓPEZ et al., 2019). Sobre este aspecto (Hernández, 2021) relaciona o clima, as tendências anuais das temperaturas e a precipitação como factores que alteram as propriedades da vegetação.

Em Cuba, o Sistema de Informação do Cadastro Nacional correspondente ao Escritório Nacional de Hidrografia e Geodésia, realiza o

registro estatístico da superfície do arquipélago cubano (de la Colina, 1999; ONEI, 2015). Contudo, os estudos sobre a dinâmica da cobertura do solo limitam-se a um pequeno número de investigações, geralmente desenvolvidas na região oeste do país. Neste aspecto, o Instituto de Geografia Tropical (IGT) participa na Iniciativa Global do Projeto LADA “Avaliação da degradação do solo em áreas secas” (Urquiza, Alemán e de la Colina, 2014), o que tem permitido as projeções de desenvolvimento e direções geográficas sobre mudanças no uso e cobertura da terra.

O arquipélago cubano é composto principalmente por paisagens caracterizadas por planícies, que se estendem por mais de 67% da superfície terrestre. O resto da superfície é constituído pelas montanhas e alturas pré-montanhosas, representadas pelos grupos orográficos: Guaniguanico, Guamuhaya, Nipe-Sagua-Baracoa e Serra Maestra, que se localizam na região oeste, central e oriental do ilha, respectivamente. Actualmente, as paisagens de Cuba constituem um mosaico heterogêneo de ecossistemas agrofloreais intercalados com fragmentos de vegetação natural (Mancina, Fernández, Cruz, Colomé, & González, 2018). Estes últimos estendem-se principalmente para áreas montanhosas (Estrada et al, 2013).

Os principais efeitos na cobertura do solo começaram a partir do início da colonização no século XV, marcando uma diminuição da cobertura vegetal para 41% no início do século XX (Mancina et al, 2018). O aumento da industrialização, principalmente do açúcar, da silvicultura, da mineração e dos assentamentos humanos fez com que a cobertura diminuísse para 14% em meados do século XX, com o triunfo da Revolução em janeiro de 1959. Em Cuba, as modificações nos recursos naturais dos ecossistemas, produto das atividades agrofloreais, tem causado a destruição e fragmentação de habitats naturais (Mancina et al, 2018). Uma das práticas culturais que teve impacto desfavorável na diminuição e impacto na cobertura do solo consistiu na prática denominada “rosar, cortar, sepultar e queimar” (Reyes & Ramón, 2021).

Em Cuba, os ecossistemas naturais ocupam 53% da cobertura terrestre (Galford et al., 2018), com tendência crescente, principalmente na cobertura florestal, que atingiu 30,4% em 2018 (ONEI, 2018). O que resultou da aplicação de diversas políticas e regulamentações legais que

estimulam a proteção e conservação das terras. As bacias hidrográficas montanhosas exibem a mais extensa cobertura florestal. Apesar desta tendência favorável, a dinâmica da cobertura

do solo nos últimos 28 anos implicou uma maior expansão

agrícola em espaços de baixa aptidão nesta área de estudo, o que deu origem a impactos negativos sobre a terra que actualmente não existem e são avaliados exaustivamente. No entanto, em algumas zonas montanhosas a perda de cobertura vegetal persiste como reconhecido (Mancina et al, 2018).

A Sierra Maestra é uma região de grande importância geográfica e ecológica no leste de Cuba. A sua extensão atinge aproximadamente 250 km de comprimento de leste a oeste e largura máxima entre 40 e 45 km de norte a sul, com representação em três províncias (Granma, Santiago de Cuba e Guantánamo). Caracteriza-se pela sua diversidade geológico-geomorfológica, concentrando as maiores altitudes, sendo o Pico Turquino (1974 m acima do nível do mar) a maior altitude do país, além de elevada biodiversidade florística, faunística e condições climáticas. Estas características geográficas desempenham um papel importante no estado e na configuração da dinâmica da cobertura do solo, influenciando a distribuição da vegetação e as atividades humanas que impactam a paisagem.

A estimativa das alterações na cobertura do solo requer o desenvolvimento de capacidades humanas, técnicas e tecnológicas para a identificação dos tipos de cobertura. As tecnologias aplicadas nos últimos 30 anos apontam para uma maior utilização de imagens de satélite, e outras técnicas remotas que favorecem a rápida identificação dos tipos de cobertura e têm permitido aumentar a qualidade e gestão de grandes quantidades de informação (Tobar, Gao, Mas & Cambrón, 2023). No entanto, para comparar a cobertura com datas anteriores ao ano 2000, é necessário recorrer a fotografias aéreas, como o exemplo deste trabalho, tudo isto devido à obsolescência dos mapas de cobertura existentes e à fraca precisão dos dados de satélites disponíveis na referida data, para aplicação da metodologia de ordenamento ecológico na área de estudo.

A identificação da cobertura do solo e da vegetação aplicando sensoriamento remoto a partir de imagens de satélite e classificação cubana tem alguns exemplos. Um dos pioneiros e mais conhecidos realizados para todo o arquipélago foi desenvolvido pela (Estrada et al, 2013), com recurso a imagens LandSat 7 ETM. Nos últimos anos, registaram-se progressos na

obtenção e análise de imagens Sentinel e/ou Rapid Eyes de alta resolução (Labrada e Oviedo, 2020), o que permitiu definir de forma mais fiável as alterações na cobertura, a identificação e classificação dos usos do solo, além da utilização de outras ferramentas como a análise de imagens naturais oferecidas pela Google (Marambio, Romano, Crespo e Colaninno, 2017). Este último alterna a atividade de classificação e verificação de padrões, sem a necessidade de fazê-lo diretamente em campo (Gomes, Araujo & Galvêncio 2022).

Por outro lado, a identificação de cobertura tem sido massivamente incorporada a partir de sensores remotos, utilizando diferentes resoluções espaciais com metodologias inovadoras entre as quais podemos citar a europeia CORINE (Coordination of Information on the Environment) (IDEAM, 2010), que tem sido adaptada e aplicada em vários países europeus, África e América do Sul. Em Cuba, nos últimos anos tem sido utilizado o sensoriamento remoto a partir de imagens de satélite, desenvolvendo metodologias próprias para a escala 1: 100.000 (Ponvert, 2003). Por outro lado, outros pesquisadores (Labrada e Oviedo, 2020) desenvolveram metodologias próprias para a análise da mudança de uso e cobertura da terra, o que destaca a utilização de imagens Rapid Eyes com maior resolução espacial. Em outros casos, Labrada, Fernández e Linares, (2013); Mármol, de la Colina e Estrada (2013) utilizaram imagens multiespectrais MODIS e LANDSAT, de baixa e média resolução espacial, respectivamente, que não permitem uma identificação precisa das classes e tipos de cobertura do solo.

Além das imagens multiespectrais utilizadas para identificar tipos de cobertura, são utilizados índices que resultam da combinação de duas ou mais bandas de imagens de satélite que permitem estabelecer diferenciações espaciais e temporais de cobertura. Um dos índices mais utilizados é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), conforme afirma Vela, Navarro, Mendoza, Sánchez & Esparza (2024), que é uma ferramenta amplamente utilizada na área de sensoriamento remoto para identificar diferentes tipos de cobertura do solo dependendo de sua densidade de vegetação. Esse índice é calculado a partir das faixas do vermelho e do infravermelho próximo das imagens de satélite, o que permite quantificar a atividade fotossintética e a saúde da vegetação da superfície terrestre. Da mesma forma, também é utilizado o Índice de Diferença Normalizada de Umidade (NDWI). Ambos os índices revelam características importantes da

vegetação na sua diferenciação espacial e também na sua aplicação em diversos estudos ambientais.

O município do Guamá inserido na Serra Maestra era cenário típico de uso do solo com métodos puramente extrativistas de madeira, recursos minerais e desenvolvimentos agrícolas, o que levou à eliminação de grande parte da cobertura territorial do século XVII até meados do século XX (Reyes e Ramón, 2021). Desde 1959, têm sido aplicadas políticas de reflorestação, de conservação do solo e das florestas que têm um impacto positivo no aumento da cobertura florestal. No entanto, a quantidade de benefícios e danos ambientais destas mudanças é desconhecida.

A dinâmica da cobertura do solo nas bacias da encosta sul da Serra Maestra, no município de Guamá, na província de Santiago de Cuba, sofreu mudanças significativas entre 1995 e 2023, influenciadas por fatores socioeconômicos e ambientais, que por sua vez afetam a sustentabilidade das actividades agrícolas e do ordenamento territorial da região. Espera-se que estas alterações reflitam um aumento das áreas de utilização agrícola intensiva, principalmente nas zonas costeiras, e uma diminuição das áreas de cobertura florestal, o que poderá comprometer a gestão dos recursos hídricos e a biodiversidade local.

Durante o período 1995-1999, o projeto “Gestão ecológica das bacias dos rios Guamá e Sevilla” foi desenvolvido com a cooperação de especialistas da Universidade Técnica de Munique. As fotografias aéreas à escala 1: 15.000 utilizadas neste projeto permitiram definir 58 tipos de cobertura, agrupados em nove subclasses (Bioeco, 2000), que serviram de ponto de partida para a análise da dinâmica de cobertura desta área. O objetivo deste trabalho é avaliar a dinâmica da cobertura da terra entre os anos de 1995 e 2023, com o propósito de desenhar novas estratégias ambientais que reduzam o impacto das atividades sociais e econômicas e aquelas associadas às variações climáticas.

Material e métodos

Área de estudo

A área de estudo inclui principalmente as bacias hidrográficas de Sevilla e Guamá, limitadas pelos interflúvios a leste da Baía de Quiebra Seca e a oeste de El Papayo e Guamá, incluindo as áreas intermediárias. Limita ao Sul com o Mar do Caribe e ao Norte principalmente com a bacia do Rio Cauto, coincidindo com a parte central da Serra Maestra. A altitude mais elevada

corresponde ao Alto La Meseta com 950 m de altitude (Figura 1). Estes constituem espaços rurais do município de Guamá, na província de Santiago de Cuba. A área total ocupa 213 km² e está localizada entre as coordenadas extremas 19° 57' 18.1026 e 20° 5' 50.631" de latitude norte e 076° 17' 13.56216" e 076° 29' 33.64008" de longitude oeste, inserida na área Serra del Turquino, na parte central da Sierra Maestra, Sub-região da Sierra Maestra segundo (Viña, 2000).

A geologia da área de estudo é caracterizada pela predominância de rochas da formação Cobre, representadas por tufos, tufos aglomerados, aglomerados lávicos e lavas andecidacíticas e dacíticas, raramente riolíticas, riolíticas e basálticas, tufitos, intercalações calcárias. Espessura 5.000-6.000 metros. (IGP, 2014). Este tipo de rocha é atravessado por outros tipos de rochas ígneas intrusivas compostas por riolitos, pórfiros granodioríticos, traquiriolitos graníticos e também granodioritos. A maior superfície rochosa da formação Cobre localiza-se na bacia do rio Sevilla com 64% da sua superfície, seguida em importância pelos granodioritos que ocupam quase 13 por cento, andesitos e porfiritos dioríticos com 10% de sedimentos não consolidados da formação Río Macío compostos por depósitos carbonáticos terrígenos, turbáceos pantanosos, manguezais, silte, silte arenoso, argilas arenosas, areias, seixos de praia.

O relevo é consequência de soerguimentos neotectônicos moderados e intensos recentes, formando degraus morfoestruturais diferenciados em montanhas baixas (500 e 1000 m) e pré-montanhas (100 -500 m), que predominam na paisagem desta área. Também são observadas as colinas costeiras com alturas de até 80 m de altitude; e as estreitas planícies aluviais ao longo da costa, todas as estruturas menores perto da costa. É uma área muito dissecada vertical e horizontalmente, com declives superiores a 200 m/km² e mais de 300 m/km² de extensão do canal respetivamente, o que confere grande complexidade ao relevo. Da mesma forma, as encostas são muito íngremes com valores superiores a 15 graus, o que é favorável à ocorrência de deslizamentos, refletidos (Villalón et al, 2023).

Os seguintes tipos de solo estão presentes na área: Ferralítico vermelho lixiviado, Ferralítico vermelho amarelado, Ferralítico amarelado, Ferralítico marrom avermelhado, Marrom, Marrom acinzentado, Húmico carbonático, Esquelético e Aluvial (Hernández, Pérez, Bosch & Castro, 2015). Os solos ferralíticos têm ampla distribuição por toda a área e desenvolvem-se nas

alturas e montanhas acima dos 500 m de altitude. Da mesma forma, os Fersialíticos marrom-avermelhados estão amplamente distribuídos por toda a área, principalmente abaixo de 500 m de altitude.

Os Castanhos são os mais abundantes na área e aparecem em quase todas as formas de paisagem,

desde as zonas mais secas até às mais húmidas e desde o nível do mar até aos 950 m de altitude (Renda, Calzadilla, Bouza, & Valle, 1981). São solos com profundidades rasas a muito rasas, em muitos casos sujeitos a intensa erosão.

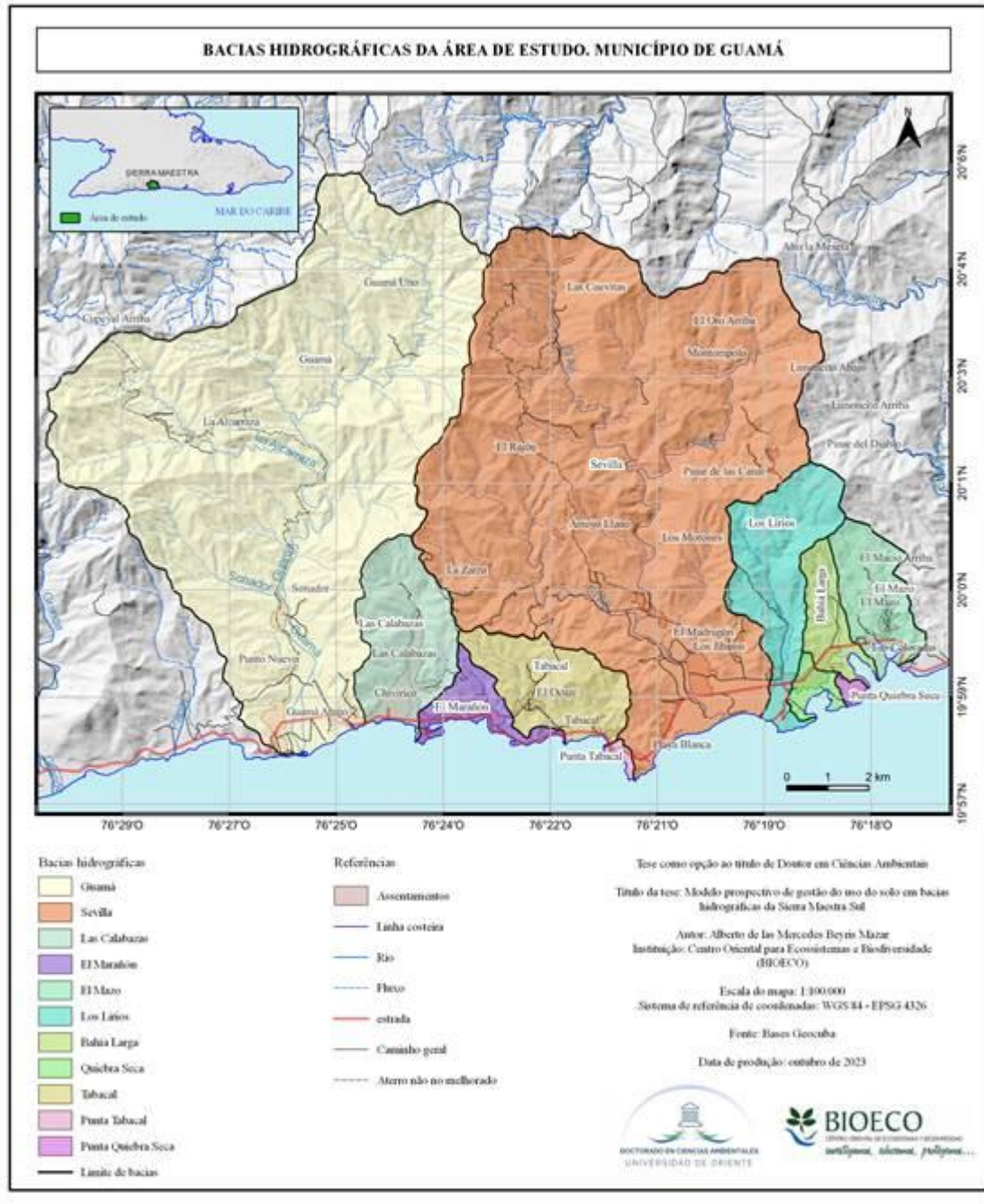


Figura 1. Delimitação da área de estudo e localização das bacias hidrográficas. Fonte: Bases de Geocuba .
Elaboração: Alberto de las Mercedes Beyris Mazar

Os solos aluviais ocupam a menor área superficial dentro da área de estudo. Situam-se entre os vales intramontanos, ocupados principalmente por povoadamentos e atividade

agrícola. Os solos esqueléticos estão distribuídos pelas paisagens, principalmente associados a áreas de encostas íngremes, lâminas e picos agudos. As bacias hidrográficas da encosta sul da Serra

Maestra são geralmente pequenas, com encostas íngremes e uma cobertura territorial muito fragmentada e Guamá e Sevilha são duas das maiores com 83 km² cada. A rede de drenagem é geralmente caracterizada por rios e córregos intermitentes, onde apenas os maiores atingem a ordem 4 segundo a classificação de Strahler (Aguilo et al, 2004). Os maiores volumes de escoamento são alcançados na estação chuvosa (maio a outubro).

As precipitações apresentam fortes variações em estreita ligação com o relevo, apresentando valores superiores a 1.000 mm nas zonas mais baixas, próximas da costa, e superiores a 2.400 mm nas áreas mais elevadas. Mais de 60% das chuvas concentram-se no período de maio a outubro, com valores entre 1.000 e 1.400 mm; enquanto no período entre novembro e abril as médias de precipitação são mais baixas com valores entre 300 e 500 mm (Rodríguez, 2006). Por outro lado, a variação da precipitação analisada entre três períodos diferentes do século passado mostra que estas áreas registaram uma diminuição significativa da precipitação média histórica superior a 200 mm. A vegetação segundo (Reyes & Fornaris, 2011) é a região mais diversificada em relação à altitude, clima, geologia, solos, flora, vegetação e fauna, condicionando uma grande variedade de formações vegetais. A mais difundida nesta área é a floresta perenifolia mesófila submontana, que se desenvolve a partir de 450 m de altitude até encontrar a floresta tropical montana (Reyes, 2012). O desmatamento descontrolado e a exploração madeireira durante vários anos causaram a destruição da vegetação original, porém, partes dessas formações estão preservadas em diversos espaços. Em geral, há predomínio de vegetação secundária com diferentes estágios sucessionais.

A população total da área é pequena; em termos absolutos é uma das áreas com menor densidade populacional do país. Isto está disperso

As bacias hidrográficas do município do Guamá são geralmente pequenas, com declives acentuados e cobertura vegetal bastante fragmentada. As variações da temperatura média anual na região são as mais significativas em Cuba, oscilando de temperaturas abaixo de 15°C até acima dos 25°C. Os valores mais baixos estão associados aos picos mais altos, enquanto os mais quentes são registados no litoral (Lecha, Paz e Lapinel, 1994).

e concentrado em assentamentos rurais (Aja e Hernández, 2019). Esta concentração é gerada principalmente nos centros urbanos de Chivirico e La Granjita, entre outros. A composição da população do município do Guamá é caracterizada pelo predomínio do sexo masculino sobre o sexo feminino, o que é um reflexo fiel dos fatos demográficos do país em municípios puramente rurais, com base estreita da pirâmide demográfica, como resultado das baixas taxas de natalidade e da expansão entre as faixas etárias de 45 a 60 anos, produto do chamado “baby boom” da década de 1960, como reconhece (Aja e Hernández, 2019).

As principais atividades econômicas da região estão relacionadas à atividade primária com predominância da agricultura extensiva e de subsistência de diversas culturas, e da extração de madeira. A diferenciação espacial desta atividade facilita a sua distribuição de acordo com a complexidade do relevo e aspectos culturais como a propriedade da terra e o seu uso tradicional. Nas partes baixas e planas, desenvolvem-se as culturas nas suas diferentes manifestações. Na parte central das bacias e áreas com menor insolação, desenvolvem-se as plantações de café, geralmente em áreas acima de 400 m de altitude, porém, a atividade pecuária é desenvolvida em áreas de menor altitude, o que de acordo com as medidas de proteção tomadas, entre outras causas, regulamentou e também reduziu sua extensão. A agricultura cafeeira e a extração e produção de madeira aumentam.



Figura 2: A. Foto aérea 1: 15 000 de 1995 y B. Imagem Google Earth 2023. Mudanças na cobertura da terra na planície aluvial do rio Guamá entre 1995 e 2023.

A fonte inicial utilizada neste trabalho para a análise das mudanças na cobertura da terra esteve embasada no mapa de 1995. Este mapa foi

As imagens deste voo desenvolvidas entre 1995 e 1996 constituem o principal elemento para analisar as mudanças ocorridas nestas bacias hidrográficas. A escala definida para o estudo de gestão ecológica do referido período foi ajustada para fazer comparações com datas posteriores. Desta forma, o trabalho comparativo com as

concebido a partir de fotografias aéreas na escala 1: 15.000 tiradas para o projeto “Gestão ecológica das bacias de Sevilha e Guamá” (figura 2A). imagens atuais obtidas a partir da interpretação das imagens Sentinel da Agência Espacial Europeia (<https://www.esa.int>) constituiu o ano inicial para estabelecer a comparação com a classificação de 2023. A Figura 3 apresenta resumidamente o esquema metodológico para o desenvolvimento desta pesquisa.

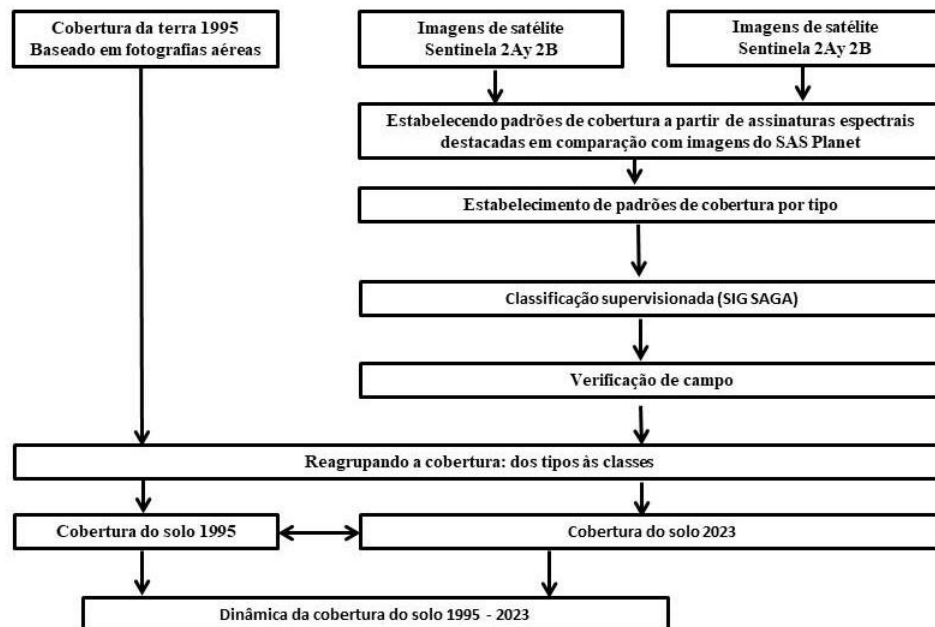


Figura 3: Esquema metodológico para análise da dinâmica da cobertura da terra entre 1995 e 2023.

A identificação dos tipos de cobertura a partir de fotos aéreas de 1995 constituiu o projeto mais inovador para Cuba naquela data. Esse processo levou ao desenvolvimento de uma metodologia de identificação de tipos de cobertura, por meio da qual foram estabelecidos pontos de controle nas fotos de acordo com a

estrutura e textura dos elementos identificados, posteriormente denominados padrões de cobertura. Cada capitão foi visitado e caracterizado pela sua estrutura, espécies predominantes, distribuição e história do local, bem como um perfil do capitão. As etapas seguintes consistiram na interpretação,

identificação e delimitação de unidades homogêneas nas fotos através do uso de estereoscópios espelho. Posteriormente, foi transferido para folhas topográficas permitindo o georreferenciamento das unidades delimitadas.

Foi utilizada uma legenda de classificação da cobertura da terra com 10 classes ou grupos e 58 tipos, apoiada por 238 padrões de cobertura (amostras de treinamento). Esta chave de classificação consistiu na identificação dos tipos de cobertura do ponto de vista estrutural, o que permitiu estabelecer uma diferenciação espacial

A segunda fonte de dados consistiu na utilização da imagem do satélite Sentinel 2 B da Agência Espacial Europeia (<https://www.esa.int>). Esta imagem apresenta diversas resoluções, de acordo com as bandas utilizadas, o que permite realizar trabalhos em escalas detalhadas, compatíveis com o passo explicado anteriormente

de código aberto QGIS 3.22.3 (QGIS, 2023) e seu programa auxiliar Semi-Automatic

As imagens SAS Planet (Figura 2B) constituíram a terceira fonte de dados. Estas foram baixadas dos principais provedores de imagens de satélite Google Earth, Bing Maps e Digital Globe, dentre outros. Estas imagens representaram o principal elemento auxiliar para a interpretação das imagens Sentinel. A coincidência temporal das imagens do Sentinel com as imagens do satélite SAS Planet foi levada em consideração para o estabelecimento dos padrões de

dentro de um mesmo grupo. Estas tipologias foram organizadas por ordem decrescente de acordo com as seguintes variáveis: grau de fragmentação, deterioração da vegetação ou tipos de estruturas visíveis, que foram selecionadas como as mais diferenciadoras da cobertura. Para a análise da dinâmica de cobertura do solo entre 1995 e 2023, a chave descrita anteriormente foi simplificada para 9 subclasses (Tabela 1) para obter maior funcionalidade na análise. Como resultado, o mapa de cobertura do solo de 1995 foi redesenhado.

(S2B MSIL1C 20230104T154549 N0509 R111 T18QUH 20230104T172550.SAFE). A data escolhida favoreceu a correta interpretação das diferentes assinaturas espectrais observadas, devido à inexistência de ruído produzido pela nebulosidade. O processamento das imagens foi realizado com o programa computacional

Classification Plugin e classificação com o programa SAGA.

Esta condição estava ligada à coincidência da interpretação espectral das imagens Sentinel com a imagem do Google Earth, e à sua posterior verificação em campo para garantir a correta classificação supervisionada. Os padrões utilizados foram desenvolvidos a partir da metodologia desenvolvida por (Fonaris, 2024) retidando destes 25 tipos (tabela 1), levando em consideração que vários deles não estão presentes na área.

Tabela 1. Classificação de cobertura do solo aplicada na área de estudo, desenvolvida por Fonaris, E, 2024. Não publicado.

Classes de cobertura	Subclasses de cobertura	Tipos de cobertura
Com vegetação	Vegetação seminatural	Floresta perenifolia
		Floresta semidecídua micrófila
		Manguezais
		<i>Matorral</i> xeromorfo costeiro
		<i>Uveral</i>
	Vegetação secundária baixa	<i>Herbazal</i> secundário
	Vegetação secundária alta	Floresta secundária mista
		Floresta secundária com dominância de leguminosas
		<i>Matorral</i> secundário com árvores e arbustos
		Mata de galeria
		Cafezais
	Silvicultura	Pinheirais
		Plantação latifoliada
		Plantação de leguminosas
	Culturas agrícolas	Pastagens com poucas árvores e arbusto
		Pastagens com abundantes árvores e arbustos

		Áreas em preparo para cultivo
		Mistura de cultivos
		Frutais extensos
		Frutais y árvores ao redor de casas isoladas
Construída	Edificada	Assentamentos
		Aglomerados isolados de casas
		Instalações sociais ou económicas
	Sistema viário	Rodovias e estradas
		Pedreiras
		Cemitério
Aquosa	Superfícies de água	Rios, represas ou açudes
Nua o sem vegetação	solo exposto	Litorais rochosos
		Leitos de rios, areias e solos expostos, apicuns
		Praias
		Falésias

Fonte: Bioeco (2024)

Métodos

O processo de estabelecimento dos pontos foi concebido a partir da observação de imagens do SAS Planet, por meio das quais foram identificadas unidades com características homogêneas. Na imagem foram localizados mais de 2.000 pontos de controle, distribuídos por toda a área e todos os tipos de cobertura.

Cada ponto correspondeu a um padrão de cobertura que foi identificado com um código e convertido em polígonos irregulares para aumentar a área de superfície que tipificou cada padrão. A classificação foi aplicada em diferentes testes, aumentando o número de pontos a serem avaliados até que a diferenciação das unidades esperadas fosse alcançada e sua precisão aumentada.

A classificação supervisionada foi realizada com o programa System for Automated Geoscientific Analysis (SAGA 8.01). Tendo a seguinte sequência de trabalho: 1 - Geoprocessamento, 2 - Imagens, 3 - Classificação, 4 - Classificação supervisionada por grade. Foi utilizado o algoritmo de classificação Winner Takes all, que integra: codificação binária, paralelepípedo, distância mínima, distância de $\delta n = (S2/S1)1/n - 1$

Onde: δ = taxa de mudança (para expressar em %, multiplicar por 100)
S1 = superfície florestal, no início do período

Mahalanobis, probabilidade máxima e mapeamento de ângulo espectral. Para esta análise são introduzidas as bandas 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 da imagem Sentinel, além dos seguintes índices: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI), previamente calculados a partir das bandas 4 e 8 para o primeiro e as faixas 3 e 8 para o segundo. Os valores obtidos neste cálculo variam de -1 a 1, onde valores mais altos indicam cobertura vegetal densa e valores mais baixos representam solo descoberto ou áreas sem vegetação para NDVI e áreas alagadas ou corpos d'água para NDWI.

Como resultado, foram obtidas unidades por tipo de acordo com as diferenças espectrais definidas pelos padrões de cobertura estabelecidos anteriormente. É gerado um mosaico composto por milhares de pequenas unidades, que são submetidas a um processo de generalização através da aplicação de filtros, até atingir a unidade mínima mapeável (1600 m²), definida para a escala 1: 10.000 (Priego, Bocco, Mendoza e Garrido, 2008). Desta forma, ocorre a simplificação das unidades, que são posteriormente unificadas de tipos para subclasses de cobertura, o que fornece o resultado final do mapa de cobertura do solo (Beyris, 2024), descrito na figura 5. Com os resultados anteriores foram comparadas as estatísticas espaciais de ocupação por subclasses de cobertura, às quais também foi aplicada a taxa de variação segundo a seguinte fórmula utilizada por (Villegas, 2011).

S2 = superfície florestal, no final do período

Resultados e discussão

A cobertura do solo foi classificada por tipo, obtendo um valor estatístico Kappa de 0,246025 e uma avaliação de precisão de 0,284084 (Beyris, 2024). Estes valores, quando relacionados com a escala de avaliação definida por (Landis & Koch, 1977), relativamente ao índice Kappa, são considerados “discretos”. Um dos principais elementos que influenciam este resultado é a alta similaridade das assinaturas espectrais das espécies, o que coincide com as observações feitas por (Rodríguez e Alonso, 2021; Tejjido, Barrio e López, 2023). Dentre essas unidades que apresentam semelhanças, podem ser descritos os tipos de cobertura dos plantios folhosos de *Talipariti elatum* (Sw.). Fryxell (majagua) e *Pinus maestrensis* Bisse e *Pinus cubensis* Sarg. ex-Griseb (Pino).

Estas pequenas diferenças entre assinaturas espectrais também são observadas em outros tipos de cobertura, o que reafirma a abordagem de (Reyna e Gossweiler, 2011), de que as técnicas convencionais de classificação não garantem um mapeamento temático exato. Esses erros de classificação são comuns na classificação das plantações de café conforme corroborado por (Montejo, Castillo, Soto, & León, 2022), cuja estrutura é semelhante aos tipos de cobertura Floresta Secundária Mista e Floresta Secundária com dominância de leguminosas. Em ambos os casos, os valores do NDVI são muito semelhantes, não ocorrendo a sua distinção. Por outro lado, as unidades espaciais delimitadas estão dispersas e geralmente possuem uma pequena área superficial.

A classificação de uso do solo e a cartografia desenvolvida indicam que os resultados são confiáveis, desde que sejam desenvolvidos em conjunto com processamento automático, revisão e comparação com imagens SAS Planet, e ocorra o inevitável ajuste de unidades de cobertura que possuam semelhança tipológica, o que justifica que independentemente da aplicação da classificação supervisionada, é

necessário o ajuste manual da classificação de acordo com (Beyris, 2024). Nesse aspecto, há total concordância com (Rodríguez & Alonso 2021), em ter conhecimento prévio da área.

Por outro lado, o uso da detecção remota não é importante apenas para identificar os factores de mudança antropogénica (Rodríguez & Alonso 2021), mas também para os diferentes factores físicos que afectam indirectamente as mudanças na cobertura do solo, como os que provocam a incidência de alterações climáticas e tipo de solo. Factores que são característicos da mudança na forma particular ou exclusiva de um componente físico, mas sim da inter-relação de dois ou mais componentes. Os factores de mudança hoje não podem ser diferenciados ou separados em antropogénicos ou biofísicos com total certeza, uma vez que os factores de mudança têm impactos directos e indirectos em diferentes escalas globais, regionais ou locais.

Um dos problemas relacionados com as políticas de desenvolvimento agrícola está relacionado com a entrega de terras em usufruto, processo que passou por várias etapas desde 1959 até aos dias de hoje, como reconhece (Rodríguez, Marzín e Cruz, 2020). Este processo considera “a entrega de terras pelo Estado aos cooperados, aos pequenos agricultores, às pessoas singulares (que, ao receberem terras, tornam-se pequenos agricultores), às entidades estatais e não estatais, bem como a outras entidades reconhecidas por lei, nesse conceito” (Soto, 2019). Contudo, os impactos e limitações referidos por Rodríguez et al, (2020), são de natureza administrativa e produtiva, não reconhecem os impactos ambientais quando foram entregues terras que só são adequadas para conservação e proteção. Com base na análise dos mapas de cobertura de 1995 e 2023 (Figuras 4 e 5, respetivamente), foram efetuados cálculos estatísticos das superfícies correspondentes a cada tipo de cobertura por subclasses (Figura 6). A Tabela 2 apresenta as áreas correspondentes a cada tipo de cobertura do solo e as diferenças entre os anos avaliados, bem como a taxa de variação.

Tabela 2. Cobertura da terra e taxa de mudança entre 1995 e 2023.

Coberturas	1995 (km ²)	(%)	2023 (km ²)	(%)	Mudanças 1995-2023 (km ²)	Taxa de mudança anual
1- SVSN	12,80	6,02	34,71	16,30	21,91	3,6

2 - SVSEA	124	58,3	128	60,21	4,10	0,1
3 - SVSBA	1,0	0,5	8,4	3,88	7,40	7,9
4 - SF	9,5	4,5	18,99	8,91	9,49	2,5
5- SA	58,4	27,5	15,7	7,35	-42,70	-4,6
6- SE	2,8	1,3	3,6	1,69	0,80	0,9
7- SV	2,0	0,9	1,9	0,87	-0,10	-0,18
8- SD	2,0	0,9	1	0,44	-0,96	-2,37
9- SA	0,22	0,1	0,7	0,32	0,48	4,2
	213	100	213	100		

1 - Superfície com vegetação seminatural (SVSN); 2 - Superfície com vegetação secundária alta (SVSEA); 3 - Superfície com vegetação secundária baixa (SVSBA); 4 - Superfície florestal (SF); 5 - Superfície agrícola (SA); 6 - Superfície edificada e de instalações industriais (SE); 7 - Sistema viário (SV); 8 - Superfície sem cobertura (SD); 9 - Superfície d'água (SA)

Nos anos analisados, há aumento da área florestal, da área de vegetação alta e baixa e do SCVSN em 2023, em relação a 1995; No entanto, há uma diminuição drástica da área agrícola em 2023.

A superfície com vegetação seminatural: inclui os tipos de cobertura que geralmente mantiveram sua homogeneidade estrutural e espacial, como manguezais e uverales. Em ambos os casos, dadas as políticas de proteção dos últimos 60 anos, mantiveram a estabilidade

espacial; No entanto, espécies invasoras como *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (ipil-ipil), *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth estão afetando sua estrutura. (tamarindo chinês) e *Gossypium barbadense* L. (algodão). *Talipariti elatum* (Sw.), Fryxell (majagua) e *Mangifera indica* L. (manga) e entre outros expandiram-se por toda a área. Porém, a maior parte da superfície que ocupam favorece a sua sobrevivência e manutenção neste grupo associado ao litoral.

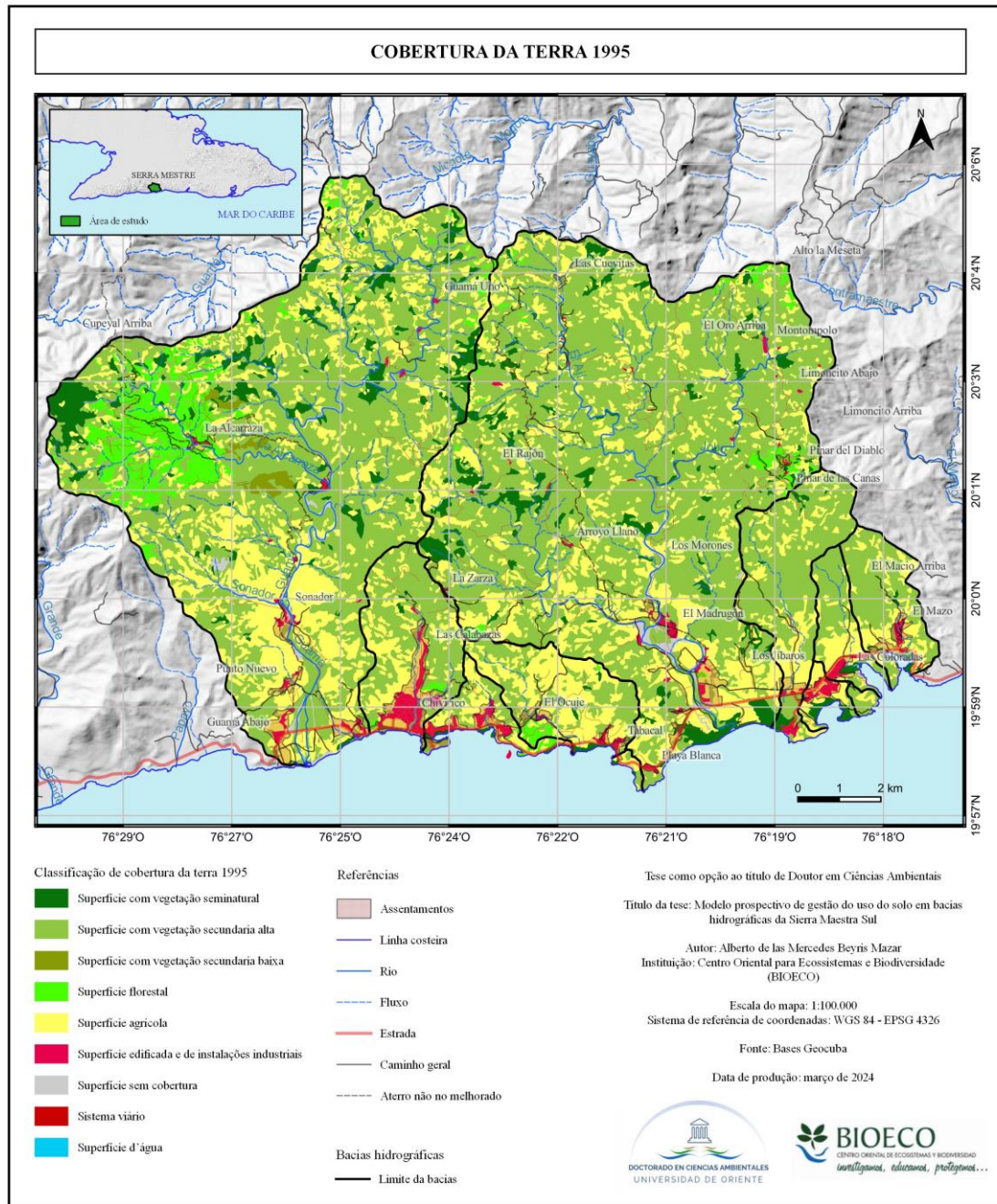


Figura 4. Mapa de cobertura da terra em 1995. Fonte: Projeto de ordenamento ecológico das bacias de Sevilha e Guamá. Bioeco 2000. Elaboração: Alberto de las Mercedes Beyris Mazar.

Por outro lado, dentro do mesmo grupo existem tipos de cobertura com estruturas semelhantes à original que têm ganhado cada vez mais espaço, como os micrófilos semidecíduais, dispersos na porção inferior e média da área de estudo, nas regiões norte, noroeste e zonas de exposição orientais; em encostas inclinadas, mais protegidas dos ventos leste e sudeste. Na parte superior existem florestas perenes, que de acordo com os anos de abandono e ações de restauração foram renaturalizadas, portanto o grupo aumentou substancialmente sua superfície nos 28 anos de

análise, conforme mostra a tabela 1 e a Figura 6, com o dinâmica de cobertura do solo por subclasses.

A superfície com vegetação secundária rasteira: é uma área muito pequena devido à superfície que ocupa, localiza-se principalmente na parte médio-superior da área. É característica de áreas agrícolas abandonadas (pastagens ou culturas temporárias), que foram colonizadas por samambaias, principalmente *Nephrolepis biserrata* (Sw.).

Estendem-se por áreas de alta umidade ambiental e com baixa incidência de atividades agrícolas ou de manutenção de culturas, o que implica maior estabilidade para o estabelecimento

a longo prazo dessas colônias vegetais. Estas áreas apresentam tendências de crescimento dadas as características da distribuição populacional e da economia local.

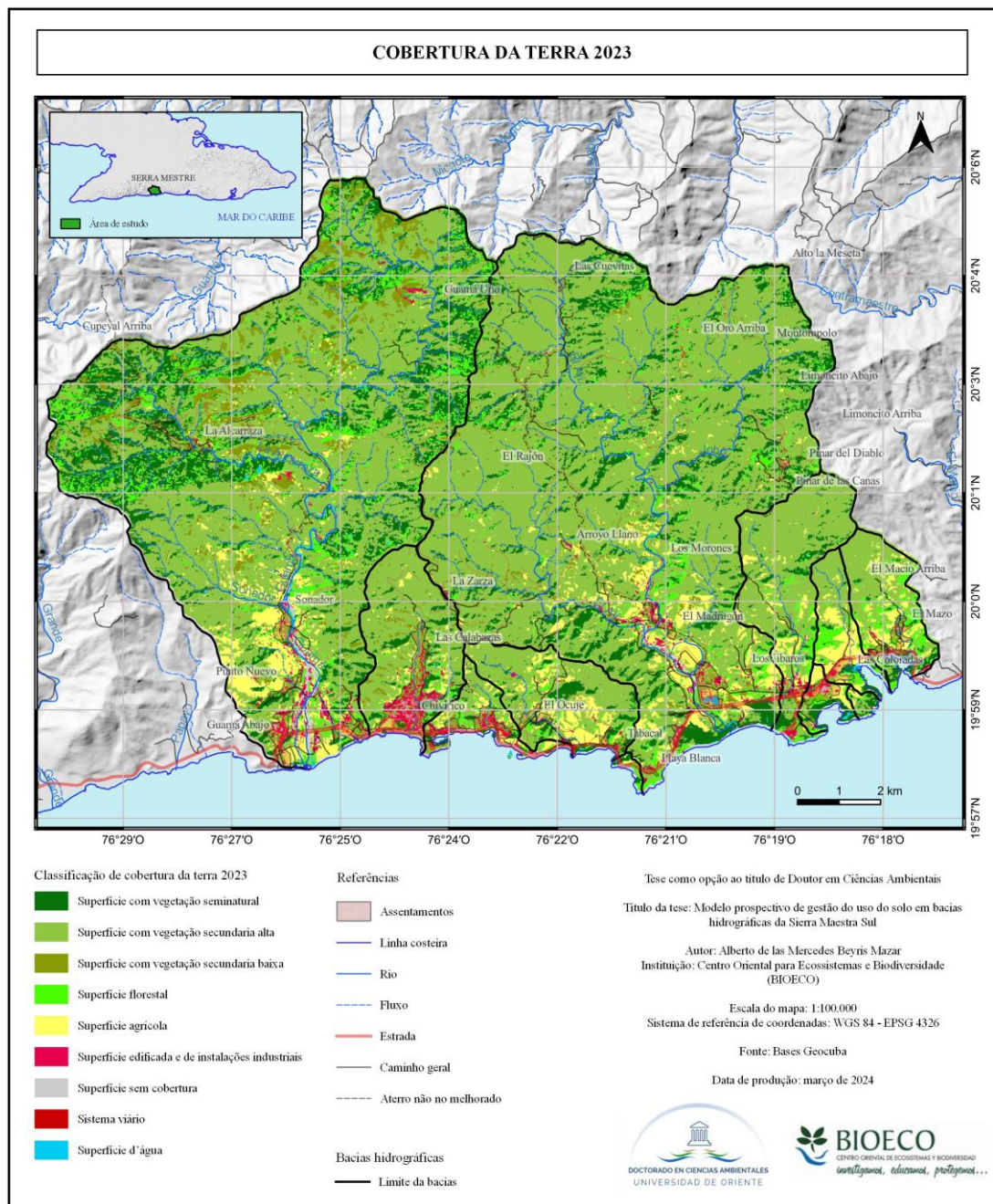


Figura 5. Mapa de cobertura da terra em 2023. Fonte: Projeto de gestão de risco de desastres na zona costeira do município do Guamá. Bioeco 2024. Elaboração: Alberto de las Mercedes Beyris Mazar.

A superfície com vegetação secundária alta: é a maior com mais de 60% de ocupação da área total e um acréscimo de apenas 4,1 km². O pequeno aumento apesar do número de anos é relativo e é dado pela dinâmica migratória das atividades econômicas que se desenvolvem na zona, entre as quais se destaca a pecuária,

principalmente a bovina, que tem se caracterizado pelo abandono. A migração tem ocorrido em todo o território, essencialmente nas zonas com características de relevo muito irregulares (Figura 7 A), declives acentuados e perdas significativas de solo. Nesse sentido, não se sabe até que ponto

o abandono está sujeito a ações regulatórias por parte das autoridades ambientais.

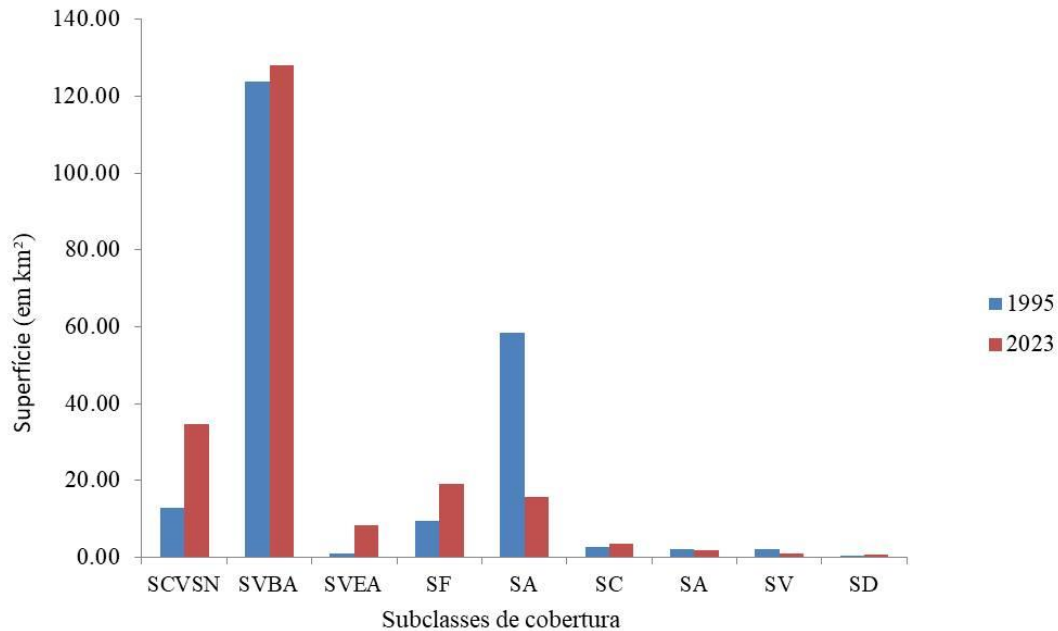


Figura 6. Dinâmica da cobertura da terra, por subclasses.

Superfície com vegetação seminatural (SVSN); Superfície com vegetação secundária de elevada altura (SVSEA); Superfície com vegetação secundária baixa (SVSBA); Superfície florestal (SF); Superfície agrícola (SA); Superfície edificada e de instalações industriais (SE); Sistema viário (SV); Superfície sem cobertura (SD); Superfície d'água (SA).

Nesta subclasse de cobertura têm sido observadas alterações nas espécies que dominam a cobertura vegetal, deslocando-se em muitos casos para ocupações tradicionalmente compostas por *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn. (marabu), *Guazuma ulmifolia* Lam. (guásima) e *Cojoba arborea* (L.) Britton & Rose, (moruro rojo) a um domínio quase total do ipil - ipil, independentemente das migrações de atividades econômicas que foram geradas anteriormente nessas áreas.

A área de silvicultura é a que apresenta maior aumento no período, superando em mais de duas vezes a ocupação inicial. Está localizada em duas áreas, especialmente La Alcarraza e Pinar de las Canas. Porém, esta ocupação deixou de se concentrar na parte oeste da área, especificamente na bacia do rio Guamá, por ter uma distribuição mais fragmentada. Por outro lado, as superfícies iniciais eram constituídas principalmente por aquelas recuperadas pela aplicação das políticas de reflorestamento da década de 1960 e início da década de 1970, em que foram recuperadas as áreas desmatadas pelas madeireiras, cuja extração se baseava em espécies de alto valor econômico, em muitos casos deixando grandes superfícies completamente desprovidas de vegetação arbórea.

O reflorestamento dessas áreas foi de monocultura, composto por plantações de pinus, principalmente *Pinus maestrensis* Bisse e *Pinus cubensis* Sarg. ex-Griseb. segundo (Reyes, 2012), embora atualmente ambos sejam considerados uma única espécie segundo (Greuter e Rankin, 2022). Posteriormente, outras espécies foram incorporadas aos planos de reflorestamento, como a majagua, que hoje tem composição principal nos planos recentes das empresas agrícolas. Na zona costeira também têm havido importantes sectores de reflorestação, mas com espécies de valor e aproveitamento energético como o ipil-ipil, acima mencionado. Estas áreas também continuam um padrão de distribuição dispersa, com pequenas áreas de cerca de 0,5 ha.

A área agrícola é a que apresenta uma diminuição mais significativa na sua ocupação, passando de 27% para 7,5% (figura 7 B e D). Estas áreas apresentam uma grande diversidade de tipos de estruturas vegetais, que se diferenciam pela intensidade de utilização e tempo despendido como cobertura, algumas agrícolas claramente caracterizadas por culturas temporárias ou de ciclo curto, outras de tipo permanente com predominância de árvores de fruto e em terceiro lugar os dedicados à pecuária. Estes últimos são

aqueles que, devido a diferentes políticas, migraram para outros usos que oferecem maior sustentabilidade tanto da produção como da proteção dos diferentes componentes do meio ambiente.

A característica peculiar da cobertura agrícola temporária ou de ciclo curto é o tamanho distribuição contínua de pequenas parcelas fragmentadas divididas por cercas vivas, localizadas ao longo dessas unidades mencionadas anteriormente. Na zona costeira e nas zonas planas aumentam a superfície, o que é

da superfície, que é dado pelo tipo de propriedade da terra. Neste sentido, grande parte das áreas são pequenas, menos de 1 hectare, associadas às periferias de assentamentos urbanos e rurais, povoados e estradas. Às vezes apresentam uma

evidenciado por (Escobar e Castillo, 2021), onde existe grande competição entre a agricultura e as áreas de vegetação natural dos mangais, afetando gradativamente este último tipo de superfícies.

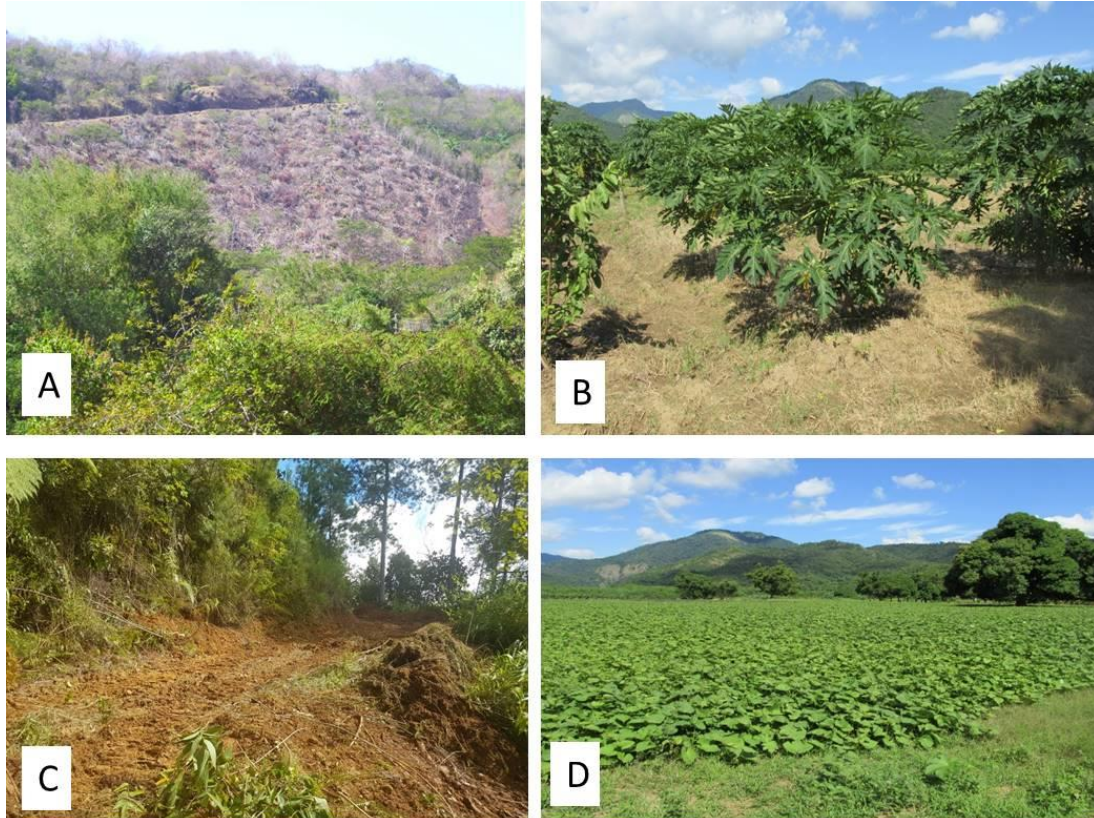


Figura 7: A: Parcela desmatada para uso agrícola, B e D: cultivos; C: Caminho.

A configuração rural do município de Guamá, caracterizada por um relevo abrupto e acidentado, tem sido um fator limitante para o estabelecimento de assentamentos e instalações fabris. No entanto, a área construída tem registado um crescimento gradual, atingindo apenas 1,69% da superfície total em 2023. A distribuição espacial das edificações concentra-se maioritariamente na faixa costeira e aluvial, com exceções isoladas nas zonas de maior altitude. As instalações industriais concentram-se em atividades agroindustriais relacionadas ao processamento de café e madeira.

Neste mesmo sentido, o sistema viário e a superfície sem cobertura apresentam características de distribuição e dinâmica espacial

muito semelhante. Estas sofreram muito pouca variação e representam menos de 1% da superfície total da área de estudo, cada uma. No entanto, o impacto é significativo para os componentes biofísicos naturais e socioeconômicos. Na rede viária destaca-se a estrada pavimentada paralela à costa e uma rede de estradas não asfaltadas com orientação Norte-Sul que ligam os assentamentos e instalações fabris à zona costeira. As alterações produzidas neste tipo de superfície são causadas pela interrupção de estradas devido a deslizamentos de terra. Neste caso, a abertura de outros trechos rodoviários ocorre em setores que não foram mexidos com maquinárias (Figura 7 C).

A superfície sem cobertura ocupa áreas muito pequenas, associadas a trechos rochosos de

rios e córregos (leito), que após o impacto secular das águas pluviais perderam o solo que os cobre. Outros estão associados a terrenos muito acidentados, com encostas muito íngremes em zonas montanhosas e encostas do litoral. Por outro lado, existem também zonas temporariamente nuas, em que a vegetação foi afetada por incêndios florestais, e por outro lado, aquelas

No entanto, esta alteração é espacialmente representativa devido à extensão dos tanques suas águas subterrâneas e superficiais. Estas lagoas não permanecem em funcionamento durante todo o ano; geralmente transformam-se em pastagens na estação seca e acumulação de água na estação chuvosa. A superfície d'água natural é muito pequena, sendo apenas notável nas zonas baixas com manguezais e lagoas costeiras que se formam na confluência dos rios e da costa, sendo Sevilla e Guamá as zonas que possuem este tipo de superfície.

A classificação da cobertura a partir de imagens de satélite facilita atualmente a cobertura quase total da superfície do planeta. Isto implica que a homogeneização das classificações de cobertura deve seguir um padrão espectral muito aproximado para fazer comparações locais, regionais e globais. Neste sentido, reconhece-se a classificação resultante do projeto europeu *Corine Land Cover* (IDEAM, 2010) e outros adaptados a contextos regionais muito semelhantes, que descrevem vários níveis de classes de cobertura de acordo com as resoluções espectrais das imagens de satélite para Cuba (Ponvert, 2003). Contudo, as características da paisagem, a sua diversidade e os diferentes critérios de classificação nem sempre chegam a consenso para o estabelecimento de uma classificação única.

Para ganhar objetividade, a análise deve considerar a realização de compensações e ajustes de acordo com as classes de classificação geral, o que permitirá comparações de taxas e matrizes de alterações com obras realizadas em outros espaços. Ressalta-se a importância e a necessidade da utilização de legendas de classes de ocupação do solo em estudos ambientais que utilizam dados de satélite como matéria-prima básica. É também evidente que se não existir previamente uma nomenclatura de classes com a descrição da informação concebida, é difícil obter uma cartografia temática que reflita um conceito orgânico e estruturado de cobertura da terra (Ponvert, 2003).

Um dos principais elementos na identificação de alterações a partir da comparação de mapas de cobertura da terra para períodos superiores a 25 anos é dado pela utilização de

associadas a estradas em áreas de silvicultura que sofrem o impacto de máquinas quando são reconstruídas.

A superfície d'água é a que apresenta maior variabilidade natural, daí a sua área apresentar uma diferença entre os dois anos de 0,6 km², o que equivale a uma variação no período de estudo equivalente a 4,5% anualmente. artificiais de criação de alevins, que localizados nas margens do rio Sevilla são alimentados pelas mapas analógicos (em formato papel). Nessas análises, foram geradas incertezas pelas metodologias e sistemas de verificação da confiabilidade temática, conforme reconhecido por (Camacho *et al*, 2015). Este elemento é examinado neste trabalho, para o qual foram analisadas a metodologia utilizada anteriormente, os elementos temáticos, as escalas e a verificação da confiabilidade estatística. Outro aspecto considerado é o referente ao ajuste cartográfico, levando em consideração os materiais fotográficos que deram origem ao mapa de cobertura inicial realizado com ferramentas SIG.

As mudanças detectadas no período analisado para a área em particular e para a Sierra Maestra em geral são muito favoráveis, uma vez que as principais taxas de variação da cobertura comportaram-se com valores positivos muito elevados, atingindo até 7,9% de variação (Tabela 2). Em particular, acontece nas coberturas de superfícies com vegetação e as subclasses secundária, seminatural ou de tipo florestal, o que implica um aumento de qualquer um dos tipos de cobertura vegetal arbustiva ou arbórea. Esta situação é muito diferente daquela descrita por alguns autores (Ramírez, García e Villalpando, 2013), que reportam taxas fundamentalmente negativas para tipos de cobertura semelhantes. No entanto, uma investigação realizada em 2019 reconheceu a existência de múltiplas ameaças à conservação dos ecossistemas desta região (Reyes e Figueredo, 2019), o que também precisa ser considerado.

Estas mudanças favoráveis à cobertura arbustiva ou arbórea já são reconhecidas por (Figueredo, Ramón e Barrero, 2020). Especificando que a Sierra Maestra experimentou comportamentos semelhantes em algumas áreas devido ao manejo florestal. Este comportamento não é homogêneo para os territórios montanhosos de Cuba conforme relatado por (Mancina *et al*, 2018), onde descreve mudanças na cobertura vegetal do maciço Guamuhaya, entre 1989 e 2014, com aumento de manchas.

Entre os fatores fundamentais que influenciaram este aumento, podemos destacar a

migração da população das zonas de alta montanha para as zonas costeiras e planas, em busca de mais facilidades de conectividade e acesso a serviços sociais. Por outro lado, a aplicação do Decreto-Lei 300 (Soto, 2019), sobre a entrega de terras em usufruto além da implementação de algumas políticas que favorecem a produção agrícola no uso da terra, possibilitam a necessidade de incorporar estratégias de desenvolvimento agrícola, em correspondência com as aptidões das terras através de estudos de zoneamento (Suárez, 2014).

2. Verifica-se um aumento da área de floresta e vegetação de alta e baixa altitude, bem como da área com vegetação seminatural em 2023 face a 1995. No entanto, verifica-se uma diminuição significativa da área agrícola em 2023.
3. O reflorestamento tem sido fundamental na recuperação de áreas desmatadas na região, mas espécies invasoras foram detectadas nessas áreas. Quanto à distribuição das edificações, estas concentram-se principalmente na faixa litorânea. A variabilidade da superfície aquosa tem sido significativa, principalmente na criação de lagoas artificiais. As mudanças positivas na cobertura arbustiva e arbórea são atribuídas à migração da população para zonas costeiras e às políticas de entrega de terras de usufruto.
4. O NDVI e o NDWI constituem ferramentas valiosas na identificação de diferentes tipos de cobertura do solo com base na densidade de vegetação e corpos d'água e áreas úmidas. Ao analisar os valores do NDVI a partir de imagens de satélite, os pesquisadores podem distinguir entre vários tipos de cobertura do solo, monitorar mudanças na saúde da vegetação e avaliar o impacto das práticas de uso do solo no meio ambiente, formando assim áreas úmidas ou com escassez de água. Ambos os índices têm ampla aplicação em estudos ambientais e na identificação de mudanças na cobertura do solo.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi financiada pelo projeto “Gestão de Risco de Desastres para Adaptação e Redução de Vulnerabilidade na Zona Costeira do Município de Guamá, Santiago de Cuba” como parte do programa de Desenvolvimento de Pesquisa Sismológica Aplicada na República de

Conclusões

1. A classificação da cobertura do solo apresentou valor Kappa discreto e baixa precisão. As semelhanças nas assinaturas espectrais das espécies dificultaram a distinção entre elas, como no caso das plantações de majagua e pinus, por isso é necessário realizar ajuste manual na classificação supervisionada e ter conhecimento prévio da área.

Cuba (DISA). Outrossim, estende-se o agradecimento ao programa de doutoramento em Ciências Ambientais da Universidade de Oriente, os resultados deste trabalho estão vinculados à tese de doutoramento do autor principal intitulada “Modelo prospectivo de gestão do uso e cobertura do solo em bacias hidrográficas selecionadas da vertente sul da Serra Maestra. Provincia de Santiago de Cuba.

Referências

- Aguilo, M., Aramburu, M. P., Blanco, A., Calatayud, T., Carrasco, R. M., Castilla, G., . . . Rhea Consultores, S. A., 2004. Guía para la elaboración de estudios del medio físico (C. d. P. S. G. T. M. d. M. Ambiente Ed.). <http://dx.doi.org/10.29327/1163602.7-218>
- Aja, A., & Hernández, W., 2019. Dinámica de la población y sus interrelaciones en Cuba y sus territorios. Recomendaciones para la acción. NOVEDADES EN POBLACIÓN, 29 56-74. Disponible: <http://dx.doi.org/10.1787/125717024841>.
- Beyris, A. d. I. M., 2024. Clasificación semiautomatizada de la cobertura del suelo en cuencas hidrográficas de la Sierra Maestra a partir de imágenes satelitales. año 2023. manuscrito não publicado. Santiago de Cuba. Cuba.
- Bioeco. Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad, 2000. Ordenación ecológica de las cuencas hidrográficas Guamá y Sevilla en el municipio Guamá. Provincia Santiago de Cuba. Santiago de Cuba, Cuba:
- Bioeco. Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad, 2024. Gestión de riesgos de desastres para la adaptación y la reducción de la vulnerabilidad en la zona costera del municipio Guamá, 2022 - 2024 (PS2115SC001-022). Santiago de Cuba.
- Camacho, J. M., Juan, J. I., Pineda, N. B., Cadena, E. G., Bravo, L. C., & Sánchez, M., 2015. Cambios de cobertura/uso del suelo. Madera y

- Bosques, 1(21), 93-112. Disponible: <http://dx.doi.org/10.21829/myb.2015.211435>
- CNULD. Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, 2017. Perspectiva global de la tierra (primera edición ed.). Bonn, Alemania.
- de la Colina, A., 1999. Cambios en la cobertura y el uso de la tierra: Direcciones geográficas de investigación en el escenario regional del Caribe y Cuba (pp. 195-203). Disponible: <http://dx.doi.org/10.35537/10915/82130>
- Escobar, R. E., & Castillo, M. A., 2021. Cambios en la cobertura y uso del suelo en la región del Soconusco, Chiapas. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 12(66). Disponible: <http://dx.doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.755>
- Estrada, R., Martín, G., Martínez, P., Rodríguez, S. V., Pablo Capote, R., Reyes, I., . . . Coya, L., 2013. Mapa (bd-sig) de vegetación natural y seminatural de cuba v.1 sobre LANDSAT ETM 7 SLC-OFF GAP FILLED, CIRCA 2011.Paper presented at the Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, realizada en La Habana La Habana, Cuba.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2011. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo (Mundi-Prensa Ed.). Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Figueredo, J. L., Ramón, A. M., & Barrero, H., 2020. Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en el área de manejo "Los Números" Guisa, Granma. Revista Cubana de Ciencias Forestales, 8, 1-15. Disponible: <http://dx.doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.816>
- Fornaris, E., 2024. Estudio de clasificación de la cobertura de la zona costera del municipio Guamá, provincia Santiago de Cuba. Manuscrito não publicado Santiago de Cuba.
- Galford, G. L., Fernández, M., Roman, J., Monasterolo, I., Ahamed, S., Fiske, G., . . . Kaufman, L., 2018. Cuban land use and conservation, from rainforests to coral reefs. Bulletin of Marine Science, 94(2), 171-191. Disponible: <http://dx.doi.org/10.5343/bms.2017.1026>
- Gomes, V. P., Araújo, M., & Galvêncio, J. D., 2022. Mudanças espaço-temporais no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Pontal a partir de dados referenciais do Google Earth Pro. Revista Brasileira de Geografia Física, 14(7), 4148-4160. Disponible: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.7.p4148-4160>
- Greuter, W., & Rankin, R., 2022. Plantas Vasculares de Cuba, Inventario (ed. 3 ed.). Berlin, Germany: Botanischer Garten und Botanisches Museum Berlin Zentraleinrichtung der Freien Universität Berlin.
- Hernández, M. M., Téllez, O., Martínez-, E., Islas, L. A., Salazar, V. M., & Macías, H., 2021. Distribución de la cobertura vegetal y del uso del terreno del municipio de Zapotitlán, Puebla, México .Revista Mexicana de Biodiversidad, 92, 1-52. Disponible: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3649>
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D., & Castro, N., 2015. Clasificación de los suelos de Cuba 2015 (I. N. d. C. A. (INCA) & I. d. Suelos Eds. INCA ed.). Mayabeque.
- IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Editorial Scripto Ltda. Bogotá, D. C.
- IGP. Instituto de Geología y Paleontología, 2014. Léxico estratigráfico de Cuba (Centro Nacional de Información Geológica Ed. Tercera ed.). La Habana.
- Labrada, M., Fernández, L., & Linares, V. 2013. Evaluación de los cambios de estado de la cobertura vegetal de la reserva de la biosfera Ciénaga de Zapata, Cuba. Sus Causas y consecuencias. Disponible: <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3190>
- Labrada, M., & Oviedo, R. 2020. La cobertura vegetal de las cuencas Bacuranao y Guanabo. Una mirada para su gestión. Revista Cubana de Geografía, 2(1), 1-8. Disponible: <https://eqrcode.co/a/D6p1GA>
- Landis, J. R., & Koch, G. G., 1977. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. Biometrics, 33 2, 363-374. Disponible: <http://dx.doi.org/10.2307/2529786>
- Lecha, L., Paz, L., & Lapinel, B., 1994. El Clima de Cuba (Parte 1) (Vol. 1). Editorial Academia. La Habana.
- López, A., José, M., Flamenco, A., & Farfán, M., 2019. Análisis y modelación espacial de los patrones de deforestación (2005-2025) en la microcuenca La Unión del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas. Sociedad y 4548

- Ambiente, 7(18), 117-143. Disponible: <http://dx.doi.org/10.31840/sya.v0i18.1878>
- Mancina, C., Fernández, R., Cruz, D., Colomé, M., & González Rossell, A., 2018. Diversidad Biológica terrestre de Cuba. In M. C. A. & D. D. Cruz (Eds.), *Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas*. Editorial AMA. La Habana. 8-24.
- Marambio, A., Romano, Y., Crespo, M. C., & Colaninno, N., 2017. Guía metodológica. Elaboración y actualización de programas municipales de desarrollo urbano (SEDATU, SEMARNAT, & GIZ Eds. Primera edición ed.). Ciudad de México, México.
- Mármol, E., De la Colina, A. J., & Estrada, R., 2013. Dinámica del uso de la tierra en el municipio Los Palacios en el período 2000-2011.
- Montejo, A. K., Castillo, M. Á., Soto, M. L., & León, N. S., 2022. Cambio en la cobertura y uso de suelo en sistemas agroforestales de café durante el periodo 1989-2020 en Ocosingo, Chiapas. *Revista de Geografía Agrícola*(69), 147-165. Disponible: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rga.2022.69.07>
- ONEI. Oficina Nacional de Estadísticas e Información, 2015. Anuario Estadístico de Cuba 2014 (2015 ed.). La Habana, Cuba.: Oficina Nacional de Estadísticas e Información.
- ONEI. Oficina Nacional de Estadísticas e Información, 2018. Panorama uso de la Tierra. Cuba 2017. La Habana Retrieved from www.onei.cu.
- PIR. Panorama de los Recursos Globales 2019. Panorama de los Recursos Globales, 2019: Recursos naturales para el futuro que queremos (978-92-807-3741-7). Nairobi, Kenia. Disponible: <http://www.resourcepanel.org/report/global-resources-outlook>
- Pivatto, A. M., & Limberger, L., 2023. Detecção de Padrões de Mudanças Climáticas no Oeste e Sudoeste do Paraná no Período de 1977-2018. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(4), 1697-1713. Disponible: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v16.4.p1697-1713>
- Ponvert, D. R., 2003. Leyenda de Categorías de Ocupación del Suelo para Cuba. Una herramienta imprescindible para abordar la cartografía de las coberturas terrestres por Teledetección. *Revista de Teledetección*. , No., Madrid, España. Pp. . *Revista de la Asociación española de Teledetección*, 19, 11-17. Disponible: <http://dx.doi.org/10.4995/raet.2017.9014>
- Priego, Á., Bocco, G., Mendoza, M., & Garrido, A., 2008. Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisajes. *Fundamentos y métodos*. (Primera ed.). México, D.F.
- QGIS, o., 2023. QGIS Geographic Information System. QGIS. Retrieved from <http://www.qgis.org>.
- Ramírez, H. U., García, M. E., & Villalpando, G., 2013. Evaluación Espacio Temporal de Vegetación y Uso de Suelo de la Cuenca Río Caliente, Jalisco, México. *Investigaciones Geográficas*, 59, 43 - 55. Disponible: <http://dx.doi.org/10.14198/ingeo2013.59.03>
- Renda, A., Calzadilla, E., Bouza, J., & Valle, M., 1981. Estudio sobre las condiciones edafológicas, fisiográficas y agrisilviculturales de la Sierra Maestra, provincia Santiago de Cuba. Manuscrito não publicado Santiago de Cuba.
- Reyes, O. J., & Ramón, A. M., 2021. Principios para la rehabilitación y restauración de los bosques en la Sierra Maestra. *Ciencia en su PC*, 1, 49-68. Disponible: <http://dx.doi.org/10.34098/2078-3949.36.4.2>
- Reyes, O. J., 2012. Clasificación de la vegetación de la Región Oriental de Cuba. *Revista del Jardín Botánico Nacional* : 59-71,, 32-33, 13. Disponible: <http://dx.doi.org/10.22380/9786287512658>
- Reyes, O. J., & Figueredo, L. M., 2019. La conservación de la fitodiversidad ecosistémica en la Sierra Maestra, Cuba oriental. *Revista Politécnica*, 15(30), 105-118. Disponible: <http://dx.doi.org/10.33571/rpolitec.v15n30a10>
- Reyes, O. J., & Fornaris, E., 2011. Características funcionales de los principales bosques de Cuba oriental. *Polibotánica*, 32, 89-105. Disponible: <http://dx.doi.org/10.18387/polibotanica.57.4>
- Reyna, L., & Gossweiler, B., 2011. Segmentación y clasificación de imágenes satelitales para determinar la cobertura del suelo. *La Técnica. Revista de las Agrociencias*. ISSN 2477-8982, 0(4), 38-44. Disponible: http://dx.doi:10.33936/la_tecnica.v0i4.663
- Rodríguez, F., 2006. Nuevos logros en el estudio de la pluviosidad en Cuba: Mapa Isoyético para el período 1961-2000. *Revista Voluntad hidráulica*, 98(1), 2-14. Disponible: <http://dx.doi.org/10.29104/phi-aqualac/2020-v12-1-08>
- Rodríguez, N., Marzin, J., López, T., & Cruz, O., 2020. Evolución del acceso a tierras en usufructo en Cuba: impactos y limitantes.

- Hombre, Ciencia y Tecnología, 24(3), 128-136.
- Rodríguez, M. I., & Alonso, F., 2021. Obtención de cartografías de usos y coberturas del suelo de la demarcación hidrográfica del seguro para el periodo 1986-2019, empleando teledetección y clasificación digital de imágenes. Papeles de Geografía, 67 45-65. Disponible:
<https://doi.org/10.6018/geografia.472241>
- Soto, Y., 2019. El registro de tenencia de la tierra. Teoría, legislación y práctica. Revista de la Facultad de Derecho de México, 69(273-2), 751-784. Disponible:
<http://dx.doi.org/10.22201/fder.24488933e.2019.273-2.68628>
- Suárez, G. M., 2014. Apuntes sobre la zonificación agroecológica de los cultivos. Particularidades en Cuba. Cultivos Tropicales, 35(4), 36-44. Disponible:
<http://dx.doi.org/10.18271/ria.2017.272>
- Teijido, I., Barrio, M., & López, C. A., 2023. Clasificación automática de coberturas forestales a partir de imágenes Sentinel-2 y datos auxiliares mediante Google Earth Engine. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For., 49(2), 161-184. Disponible:
<http://dx.doi.org/10.31167/csecfv5i49.19935>
- Tobar, R., Gao, Y., Mas, J. F., & Cambrón, V. H., 2023. Clasificación de uso y cobertura del suelo a través de algoritmos de aprendizaje automático: revisión bibliográfica. REVISTA DE TELEDETECCIÓN, 62, 1-19.
<https://doi.org/10.4995/raet.2023.19014>
- Urquiza, M. N., Alemán, C., & de la Colina, A., 2014. Degradación de Tierras. Estudio de caso:Cuba 2014. (Land Degradation. Case Study: Cuba 2014). Paper presented at the DESERCUBA, La Habana.
<http://www.educambiente.co.cu/Desercuba/>
- Vela, A. A., Navarro, M. A., Mendoza, M. A., Sánchez, J. A., & Esparza, L. G., 2024. Análisis multitemporal de cambios en el NDVI en una región con aprovechamiento forestal en la península de Yucatán, México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 15(81), 160-186. Disponible:
<http://dx.doi.org/10.29298/rmcf.v15i81.1425>
- Villalón, L., Rosabal, S. Y., Beyris, A. d. l. M., & Calderón, E., 2023. Susceptibilidad a deslizamientos de tierra en la zona costera y cuencas hidrográficas de la Sierra Maestra. Minería y Geología, 39(4), 220-234. Disponible:
<http://dx.doi.org/10.5821/dissertation-2117-94664>
- Villegas, R., Muñoz, C. A., Muñoz, O., Gallo, C. A., & Ponce, J. L., 2011. Tasa de cambio de uso del suelo en el Parque Nacional Pico de Orizaba, Veracruz, México en el periodo 2003–2011. México
- Viña, N., 2000. Caracterización geográfica de la Sierra Maestra. En: Diversidad biológica del macizo montañoso Sierra Maestra. Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad, Santiago de Cuba.