

VULNERABILIDADE EM ZONAS COSTEIRAS URBANAS PRÓXIMAS A POÇOS DE PETRÓLEO: UM ESTUDO DE CASO

Andrés Velastegui-Montoya^{1,2}

¹ESPOL Polytechnic University, 090902, Guayaquil, Ecuador, dvelaste@espol.edu.ec

ABSTRACT

O rápido crescimento econômico global tem impulsionado a demanda por petróleo em vários países. O desenvolvimento da indústria petrolífera implica na criação de campos e poços de extração, que usualmente acontecem em áreas rurais. No entanto, a mobilidade da mão-de-obra e a demanda por moradia contribuem para a expansão urbana nas regiões produtoras de petróleo. O objetivo desse estudo é aplicar o modelo **DIPS**, para a avaliação da vulnerabilidade causada pelos poços de petróleo nos municípios de Salinas e La Libertad, no Equador. Os resultados mostraram 463 poços na área de estudo, dos quais 363 estavam localizados em áreas urbanas, com diferentes estados de atividade: 80 poços em operação, 279 temporariamente inativos e 4 permanentemente abandonados. Por outro lado, apenas 100 poços encontram-se fora de áreas povoadas, tendo-se 34 poços em operação e 66 temporariamente inativos. O mapa de vulnerabilidade revelou as áreas com maior exposição a possíveis afetações ambientais ligadas a atividade petrolífera na região. Este estudo pode ser utilizado como ferramenta a tomada de decisões e propostas de políticas públicas de proteção ambiental e gestão de riscos em áreas urbanas litorâneas que coexiste com atividade petrolífera.

Key words — Oil wells; land use, multicriteria analysis, coastal area.

1. INTRODUCTION

O rápido crescimento econômico global tem impulsionado a demanda por petróleo em vários países, o que resulta em um aumento nas atividades relacionadas à indústria petrolífera, como exploração, extração e venda [1,2]. Isso consolida o petróleo como um dos principais pilares econômicos em países como Rússia, Nigéria Venezuela, Arábia Saudita, Noruega e Equador [3,4,5,6], influenciando significativamente o desenvolvimento econômico, social e político em várias regiões do mundo [7,8].

O desenvolvimento da indústria petrolífera implica na criação de campos e poços, transporte de materiais e perfuração, ocorrendo em ambientes que vão desde áreas rurais até urbanas [9,10]. A exploração de petróleo em áreas urbanas e suburbanas deu origem aos petrosúrbios, com estruturas de perfuração e produção residenciais [11]. Embora, em alguns casos, os poços de petróleo estejam distantes das áreas urbanas, a mobilidade da mão-de-obra e a demanda por moradia e serviços essenciais contribuem para a expansão urbana nas regiões produtoras de petróleo [12].

Além disso, a indústria petrolífera pode modificar o uso da terra e afetar atividades próximas, como a agricultura, fundamental para suprir a demanda por alimentos [13].

O papel da atividade petrolífera no uso da terra é **crucial** para o desenvolvimento das cidades que dependem dos recursos de hidrocarbonetos, gerando tanto impactos positivos quanto negativos na população e no meio ambiente [14,15,16]. Portanto, estudos de vulnerabilidade desempenham um papel importante na identificação e avaliação dos diversos níveis de riscos naturais e industriais que afetam tanto as pessoas quanto o meio ambiente [17].

Na província petrolífera de Santa Elena, no Equador, que abrange os municípios de Salinas, La Libertad e Santa Elena, a primeira perfuração para exploração de petróleo ocorreu em 1911 [18]. Atualmente, é comum encontrar poços de extração de petróleo próximos a áreas urbanas, equipados com **balancins móveis**. A transformação espacial e temporal do uso do solo, impulsionada pelas demandas habitacionais na região em estudo, está intimamente ligada à indústria petrolífera, uma vez que as áreas onde os poços foram instalados eram anteriormente zonas rurais e agora são urbanizadas, o que pode representar riscos para a saúde e o ambiente [19,20]. Diante desse cenário, a pergunta de pesquisa desta pesquisa foi: qual é o nível de vulnerabilidade das áreas urbanas da província de Santa Elena devido à presença de poços de petróleo?

Este estudo tem como objetivo aplicar um modelo multicritério, para a avaliação da vulnerabilidade das áreas urbanas dos municípios costeiros de Salinas e La Libertad, na região de Santa Elena, em relação à presença de poços de petróleo. Este estudo pode ser utilizado como ferramenta a tomada de decisões e propostas de políticas públicas de proteção ambiental e gestão de riscos em áreas urbanas litorâneas que coexiste com atividade petrolífera.

2. MATERIAL AND METHODS

A região de estudo corresponde aos municípios de Salinas e La Libertad, no litoral equatoriano, a oeste da Província de Santa Elena. Em 2020, Salinas e La Libertad tinham, respectivamente, 94.590 e 117.767 habitantes [21]. A área é marcada por penínsulas e promontórios ao longo da costa, destacando-se Salinas como o ponto mais proeminente e ocidental (Figura 1) [22]. Ambas as cidades são destinos turísticos que impulsionam o desenvolvimento econômico da província. Mais de 450 poços foram instalados em áreas urbanas e arredores, próximos às residências [19]. O clima é predominantemente seco [23], resultando em três principais

tipos de vegetação: costeira desértica, caducifólia e semidecídua [24].

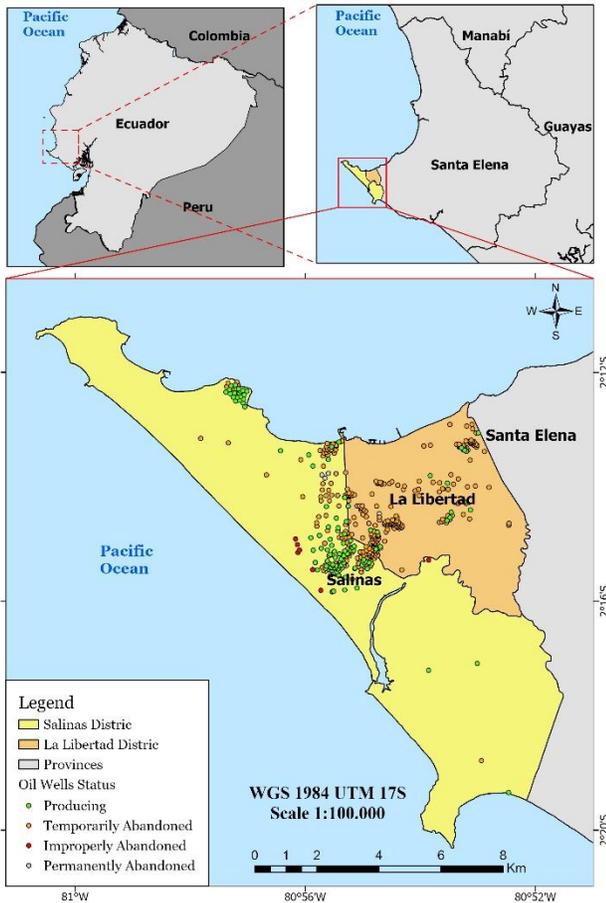


Figura 1. Localização da área de estudo.

Para avaliar a **susceptibilidade** das zonas urbanas nos municípios costeiros de Salinas e La Libertad, localizados na região de Santa Elena, foi aplicada uma metodologia que se fundamenta na relação entre variáveis como a distância entre os poços de petróleo e as áreas habitadas e corpos de água, identificação das emissões de gases provenientes desses poços, permeabilidade do solo ao redor dos mesmos, e o estado geral dos poços de petróleo (DIPS segundo **suas siglas** em inglês) [25].

A proximidade entre os poços de petróleo e as áreas habitadas foi considerada como a variável de maior importância, recebendo um peso maior (nota 5), devido ao potencial de vazamentos de hidrocarbonetos e à emissão ou concentração de gases que podem afetar as populações próximas. As áreas habitadas foram identificadas com base nos dados de cobertura da terra do ano 2023 do Esri Land Cover (<https://livingatlas.arcgis.com/landcover/>), especificamente representada pela classe área urbana.

Para determinar a proximidade dos poços de petróleo às áreas urbanas, foram utilizados diferentes anéis concêntricos ao redor dos poços, conforme estabelecido pelas **leis ambientais locais**. As distâncias de segurança e as áreas de

buffer foram determinadas por meio das variáveis x_1 , x_2 , x_3 , x_4 e x_5 , que levam em consideração as distâncias mínima e máxima, divididas em faixas. Para definir esses anéis de proximidade foram utilizadas as seguintes equações:

Equação (1): x_1 corresponde ao buffer de distância mínimo (r_{\min}), com classificação de 5. Sugere-se que esta distância seja superior a 10 m

$$x_1 = r_{\min}, \text{ (Eq. 1)}$$

Equação (2): x_5 define a maior buffer de amortecimento (r_{\max}), considerada segura para uso do solo, recebendo a classificação de 1.

$$x_5 = r_{\max} \text{ até } 2 * r_{\max}, \text{ (Eq. 2)}$$

Equação (3): d é a diferença entre as distâncias máxima e mínima, dividida pelas faixas utilizadas no DIPS.

$$d = (x_1 - x_5) / 5, \text{ (Eq. 3)}$$

Equação (4): x_2 corresponde ao segundo anel de proximidade, com classificação 4.

$$x_2 = x_1 \text{ até } (x_1 + d), \text{ (Eq. 4)}$$

Equação (5): x_3 corresponde à faixa intermediária de anel de proximidade, com classificação 3.

$$x_3 = (x_1 + d) \text{ até } [(x_1 + d) + 2 * d], \text{ (Eq. 5)}$$

Equação (6): x_4 é o penúltimo anel de proximidade, com classificação 2.

$$x_4 = [(x_1 + d) + 2 * d] \text{ to } [(x_1 + d) + 4 * d], \text{ (Eq. 6)}$$

A distância entre poços de petróleo e corpos d'água é **crucial** para evitar a contaminação desses recursos hídricos. Para avaliar o risco de contaminação dos corpos hídricos, foi estabelecida uma escala de distância com base em três anéis de proximidade dos poços de petróleo ao perfil costeiro. O primeiro anel, até 10 metros, recebeu uma classificação de 3; o segundo anel, entre 10 e 30 metros, uma classificação de 2; o terceiro anel, entre 30 e 100 metros, uma classificação de 1; e as áreas maiores aos 100 metros, receberam uma classificação de 0. Posteriormente, esta variável recebeu um peso de 4.

A presença de gases provenientes dos poços de petróleo também foi considerada, utilizando dados de outro estudo que aplicou um questionário a grupos focais da área de estudo [25]. Os grupos focais, compostos por pescadores, moradores e presidentes de comunidades, relataram a percepção de odores de gases próximos aos poços de petróleo, atribuindo nota 2 onde foram detectados; caso contrário, a classificação foi 0. Esta variável possui peso 3.

A permeabilidade do solo ao redor dos poços de petróleo foi outra variável analisada, com um peso de 2, devido ao potencial de infiltração de hidrocarbonetos no solo durante os processos de exploração e abandono dos poços. Essa classificação foi feita com base em dados de hidrogeologia disponíveis [26]. Os solos **serão** classificados como de alta permeabilidade com classificação 3, permeabilidade média com classificação 2 e baixa permeabilidade com classificação 1.

O estado geral dos poços de petróleo foi avaliado, atribuindo-se um peso de 1. Poços em diferentes condições produtivas foram classificados de acordo com o potencial risco que representam. Poços produtivos podem gerar algum

risco, por isso receberam classificação 3. Poços temporariamente abandonados que podem ser produtivos receberam classificação 2. Poços abandonados indevidamente (sem infraestrutura de segurança ao redor) foram atribuídos uma classificação de 1. Por fim, os poços abandonados permanentemente, cumprem os requisitos ambientais para garantir a segurança no seu entorno, pelo que lhes **terão** uma classificação de 0.

Finalmente, os escores das variáveis foram calculados multiplicando as classificações atribuídas pelo peso correspondente para obter a pontuação total da variável DIPS. A equação (7) expressa a pontuação resultante do produto entre a classificação e o peso, em que S representa a pontuação, C representa a classificação e P representa o peso.

$$S = C * P, \text{ (Eq. 7)}$$

O escore total (St) **será** calculado pela soma das pontuações de cada variável, conforme indicado na Equação (8). O valor máximo que pode ter o St é de 52 (resultado da multiplicação do maior valor de classificação da variável pelo seu peso), enquanto o valor mínimo pode ser de 7 (resultado da multiplicação do valor do peso de cada variável pelo valor mínimo da sua classificação). A avaliação da vulnerabilidade **será** classificada em alta ($37 < St < 52$), média ($22 < St < 36$) e baixa ($7 < St < 21$) vulnerabilidade, conforme demonstrado na

$$St = DpC * DpP + DcaC * DcaP + IC * IP + PC * PP + SC * SP, \text{ (Eq. 8)}$$

Todos esses dados foram integrados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para gerar um mapa de vulnerabilidade da região. Como parte deste processo de integração, foi necessário converter previamente todos os dados para raster, para atribuir as respectivas classificações e pesos das variáveis. Além disso, foi realizada uma análise de densidade Kernel, para criar um raster de dados contínuos com base no status dos poços de petróleo. Posteriormente, os dados raster preliminares foram relacionados utilizando a **ferramenta Raster Calculator**.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Em conformidade com a legislação dos municípios de Salinas e La Libertad, a distância de segurança ou de amortecimento dos poços à infraestrutura civil deve ser de 30 m de acordo com a lei que regulamenta o uso da terra e o desenvolvimento urbano em áreas de atividade de hidrocarbonetos ($r_{max} = 30$ m). Com base nas equações da metodologia DIPS, as distancias dos buffers foram: $x_1 < 10$ (classificação 5), $10 < x_2 < 14$ (classificação 4), $14 < x_3 < 22$ (classificação 3), $22 < x_4 < 30$ (classificação 2) e, $30 < x_5 < 60$ (classificação 1).

A aplicação da metodologia DIPS nos municípios petrolíferos de Salinas e La Libertad, permitiram gerar o mapa de vulnerabilidade, associada a **coexistência das áreas urbanas e poços de petróleo** (Figura 2).

De acordo com o **inventário** de poços de petróleo (Figura 1), **foram identificados 463 poços na região**, caracterizados segundo sua **atividade**, o que influenciou no fator de vulnerabilidade. Dos 463 poços, 363 (79% dos poços) estão

localizados em áreas urbanas **com diferentes estados de atividade: 80** poços em operação, 279 temporariamente inativos e 4 permanentemente abandonados. Por outro lado, apenas 100 poços encontram-se fora de áreas povoadas, tendo-se 34 poços em operação e 66 temporariamente inativos.

Na Figura 2 foram identificadas quatro zonas com maior concentração de poços. A Zona A contém 26 poços, sendo 19 altamente vulneráveis e 3 moderadamente vulneráveis. Na Zona B, há 26 poços, dos quais 14 são altamente vulneráveis devido à proximidade com áreas urbanas e marítimas, enquanto 12 são moderadamente vulneráveis. A Zona C possui 121 poços, dos quais 34 são altamente vulneráveis. Na Zona D há 18 poços, dos quais 5 são considerados altamente vulneráveis. Por fim, a Zona E compreende 40 poços, dos quais 6 são considerados altamente vulneráveis.

O **mapa de vulnerabilidade dos municípios de Salinas e La Libertad no SEP** revela que vários poços estão situados próximos a corpos d'água e são suscetíveis a derramamentos de hidrocarbonetos nas praias ou no mar, **sendo categorizados como altamente vulneráveis**. Finalmente, identificou-se que o município de Salinas é mais vulnerável do que La Libertad, devido à maior concentração de poços em suas áreas urbanas e próximas ao mar (Figura 2).

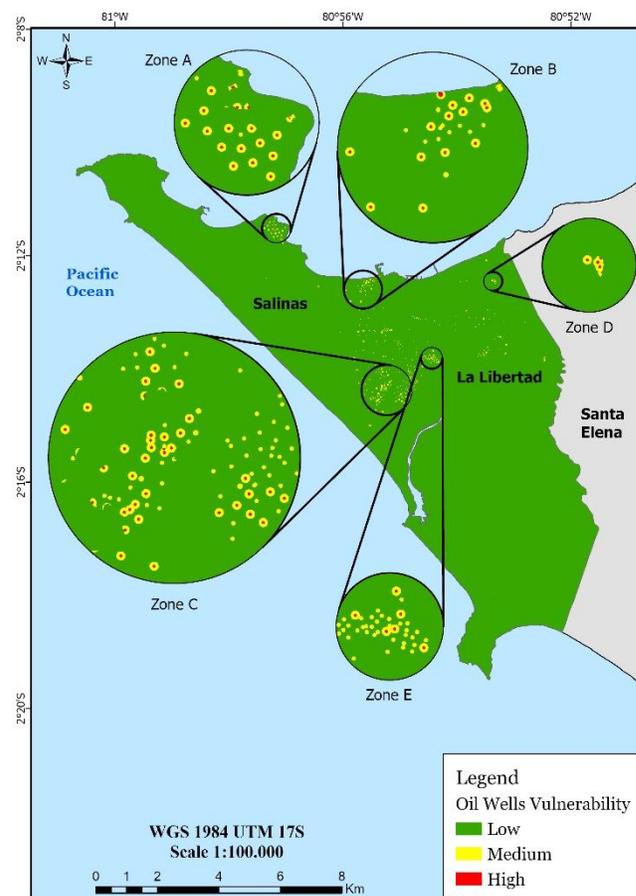


Figura 2. Vulnerabilidade dos poços petrolíferos de Salinas e La Libertad, segundo a aplicação da metodologia DIPS.

4. CONCLUSIONS

A avaliação multicritério DIPS considerou cinco variáveis: estado dos poços de petróleo, permeabilidade do solo, percepção de gases, distância dos poços de petróleo para corpos d'água e distância dos poços de petróleo para áreas urbanas. Esta metodologia pode auxiliar no planejamento do uso do solo diante da presença de poços de petróleo sob uma perspectiva social e ambiental. A falta de consideração da distribuição da população nos municípios estudados, foi uma das limitações do estudo, pelo que considerou-se a categoria "áreas habitadas" como um indicador para determinar as áreas residências.

8. REFERENCES

- [1] J. Chen, W. Zhang, Z. Wan, S. Li, T. Huang, and Y. Fei, "Oil spills from global tankers: Status review and future governance," *J Clean Prod*, vol. 227, pp. 20–32, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.04.020.
- [2] A. K. Jain, "A fine balance: Lessons from India's experience with petroleum subsidy reforms," *Energy Policy*, vol. 119, pp. 242–249, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.ENPOL.2018.04.050.
- [3] A. Ambituuni, J. Amezaga, and E. Emeseh, "Analysis of safety and environmental regulations for downstream petroleum industry operations in Nigeria: Problems and prospects," *Environ Dev*, vol. 9, no. 1, pp. 43–60, 2014, doi: 10.1016/J.ENVDEV.2013.12.002.
- [4] A. Benedictow, D. Fjærtøft, and O. Løfsnæs, "Oil dependency of the Russian economy: An econometric analysis," *Econ Model*, vol. 32, no. 1, pp. 400–428, May 2013, doi: 10.1016/J.ECONMOD.2013.02.016.
- [5] E. Buenaño, E. Padilla, and V. Alcántara, "Relevant sectors in CO2 emissions in Ecuador and implications for mitigation policies," *Energy Policy*, vol. 158, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.ENPOL.2021.112551.
- [6] E. Tvinnereim, O. M. Lægred, and K. Fløttum, "Who cares about Norway's energy transition? A survey experiment about citizen associations and petroleum," *Energy Res Soc Sci*, vol. 62, p. 101357, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.erss.2019.101357.
- [7] E. Graham and J. S. Ovadia, "Oil exploration and production in Sub-Saharan Africa, 1990-present: Trends and developments," *Extractive Industries and Society*, vol. 6, no. 2, pp. 593–609, Apr. 2019, doi: 10.1016/J.EXIS.2019.02.001.
- [8] L. Kilian and D. P. Murphy, "The role of inventories and speculative trading in the global market for crude oil," *Journal of Applied Econometrics*, vol. 29, no. 3, pp. 454–478, 2014, doi: 10.1002/JAE.2322.
- [9] A. Mayer, S. K. Olson-Hazboun, and S. Malin, "Fracking Fortunes: Economic Well-being and Oil and Gas Development along the Urban-Rural Continuum," *Rural Sociol*, vol. 83, no. 3, pp. 532–567, Sep. 2018, doi: 10.1111/RUSO.12198.
- [10] K. V. Tran, J. A. Casey, L. J. Cushing, and R. Morello-Frosch, "Residential proximity to oil and gas development and birth outcomes in California: A retrospective cohort study of 2006–2015 births," *Environ Health Perspect*, vol. 128, no. 6, p. 067001, Jun. 2020, doi: 10.1289/EHP5842.
- [11] J. H. Haggerty, A. C. Kroepsch, K. B. Walsh, K. K. Smith, and D. W. Bowen, "Geographies of Impact and the Impacts of Geography: Unconventional Oil and Gas in the American West," *Extractive Industries and Society*, vol. 5, no. 4, pp. 619–633, Nov. 2018, doi: 10.1016/J.EXIS.2018.07.002.
- [12] S. Llerena-Montoya *et al.*, "Multitemporal analysis of land use and land cover within an oil block in the ecuadorian amazon," *ISPRS Int J Geoinf*, vol. 10, no. 3, Mar. 2021, doi: 10.3390/IJGI10030191.
- [13] S. Matemilola, O. H. Adedeji, and E. C. Enoguanbor, "Land Use/Land Cover Change in Petroleum-Producing Regions of Nigeria," *The Political Ecology of Oil and Gas Activities in the Nigerian Aquatic Ecosystem*, pp. 257–276, 2018, doi: 10.1016/B978-0-12-809399-3.00017-3.
- [14] W. Chen *et al.*, "Exploring the industrial land use efficiency of China's resource-based cities," *Cities*, vol. 93, pp. 215–223, Oct. 2019, doi: 10.1016/J.CITIES.2019.05.009.
- [15] T. Fitzgerald, Y. Kuwayama, S. Olmstead, and A. Thompson, "Dynamic impacts of U.S. energy development on agricultural land use," *Energy Policy*, vol. 137, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.ENPOL.2019.111163.
- [16] W. Otchere-Darko and J. S. Ovadia, "Incommensurable languages of value and petro-geographies: Land-use, decision-making and conflict in South-Western Ghana," *Geoforum*, vol. 113, pp. 69–80, Jul. 2020, doi: 10.1016/J.GEOFORUM.2020.05.009.
- [17] L. Turconi, F. Luino, M. Gussoni, F. Faccini, M. Giardino, and M. Casazza, "Intrinsic environmental vulnerability as shallow landslide susceptibility in environmental impact assessment," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, no. 22, 2019, doi: 10.3390/SU11226285.
- [18] E. L. Lindsey and E. X. Lopez R., "Tanque Loma, a new late-Pleistocene megafaunal tar seep locality from southwest Ecuador," *J South Am Earth Sci*, vol. 57, pp. 61–82, Jan. 2015, doi: 10.1016/J.JSAMES.2014.11.003.
- [19] G. Herrera-Franco, P. Escandón-Panchana, F. J. Montalván, and A. Velastegui-Montoya, "CLUE-S model based on GIS applied to management strategies of territory with oil wells—Case study: Santa Elena, Ecuador," *Geography and Sustainability*, vol. 3, no. 4, pp. 366–378, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.geosus.2022.11.001.
- [20] K. Kok, A. Farrow, A. Veldkamp, and P. H. Verburg, "A method and application of multi-scale validation in spatial land use models," *Agric Ecosyst Environ*, vol. 85, no. 1–3, pp. 223–238, Jun. 2001, doi: 10.1016/S0167-8809(01)00186-4.
- [21] "Proyecciones Poblacionales |." Accessed: Apr. 06, 2024. [Online]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- [22] J. F. Dumont, E. Santana, M. A. Bonnardot, N. Pazmiño, K. Pedoja, and B. Scalabrino, "Geometry of the coastline and morphology of the convergent continental margin of Ecuador," *Geological Society Memoir*, vol. 41, no. 1, pp. 327–338, 2014, doi: 10.1144/M41.24.
- [23] I. García-Garizabal, "Rainfall variability and trend analysis in coastal arid Ecuador," *International Journal of Climatology*, vol. 37, no. 13, pp. 4620–4630, Nov. 2017,

doi: 10.1002/JOC.5110.

- [24] D. M. Pearsall, N. A. Duncan, J. G. Jones, D. E. Friedel, C. I. Veintimilla, and H. Neff, "Human–environment interactions during the early mid-Holocene in coastal Ecuador as revealed by mangrove coring in Santa Elena Province," *Holocene*, vol. 26, no. 8, pp. 1262–1289, Aug. 2016, doi: 10.1177/0959683616638421.
- [25] G. Herrera-Franco, F. J. Montalván, A. Velastegui-Montoya, and J. Caicedo-Potosí, "Vulnerability in a Populated Coastal Zone and Its Influence by Oil Wells in Santa Elena, Ecuador," *Resources*, vol. 11, no. 8, p. 70, Aug. 2022, doi: 10.3390/RESOURCES11080070/S1.
- [26] IGM, "CAPAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA BÁSICA DEL IGM DE LIBRE ACCESO," <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/descargas/cartografia-de-libre-acceso/registro/>.