

UN ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DE LOS NIVELES DE EROSIÓN EN UNA SUBCUENCA FLUVIAL: EL CASO DEL RÍO SAN JUAN (REP. DOMINICANA)

Juan Francisco Nova Marmolejos

Escuela de Biología. Universidad Autónoma de Santo Domingo

Manuel Miguel Jordán Vidal

María Belén Almendro Candel

Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente. Universidad Miguel Hernández de Elche

Rogelio Ernesto Nova Díaz

Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Autónoma de Santo Domingo

RESUMEN

Las demandas de una población en crecimiento generan presión sobre los recursos naturales que tienden a su degradación de no hacerse un uso racional de los mismos. El propósito de esta investigación fue evaluar la variación temporal de los niveles de erosión en la subcuenca del río San Juan durante los años 1986, 2000, 2014 y 2024, mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica. Se llevó a cabo una investigación no experimental de enfoque descriptivo y relacional. La erosión se estimó mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, para estimar sus factores se descargaron imágenes de satélites que fueron convertidas a mapas y, con la calculadora ráster de QGIS, se integraron dando salidas a mapas de erosión. Como resultados se tuvo que los procesos erosivos se incrementaron en un 3.45% en el periodo 1986-2000 y disminuyeron del 2000 al 2014, manteniéndose casi estáticos de 2014 a 2024. Las principales conclusiones fueron: a) los niveles de erosión han disminuido durante el periodo 1986-2014 y b) los menores niveles de erosión se producen en parte baja de la subcuenca baja.

1. INTRODUCCIÓN

Las necesidades de una población en crecimiento sostenido originan demandas que presionan los recursos naturales, desarrollando actividades productivas que amenazan la resiliencia de los ecosistemas, sean de origen natural o antrópico (Rosatto et al., 2020). Los estudiosos de los recursos naturales definen cuenca hidrográfica como el espacio territorial delimitado por las partes altas formando un patrón hídrico que integra las aguas superficiales y subterráneas conducidas a una fuente de agua principal (García et al., 2022). En las cuencas hidrográficas se desarrollan muchas de las actividades humanas (Formaggio, 2024).

En las cuencas existe una interrelación e interdependencia espacial y temporal entre el medio biofísico, los modos de apropiación y las instituciones. (SEMARNAT, 2013). El río San Juan es el tributario más importante de la cuenca del río Yaque del Sur, siendo esta una de las tres cuencas más importantes de la República Dominicana (Martínez-Batlle e Izzo, 2023).

Para Alvarado y Mainato (2021) la disminución de las áreas boscosas en localidades de Ecuador se debe al incremento inadecuado de actividades agropecuarias, trayendo consigo el crecimiento de áreas desforestadas, en pastizales y zonas antrópicas, e incremento de las actividades agrícolas y pecuarias.

Trabajos realizados en Ecuador evaluaron la variación temporal de los niveles de erosión cuyos resultados indican que para la zona norte existe un aumento de la erosión en un 16 %, aproximadamente, siendo el mayor incremento en el grado severo en erosión; en tanto que para la zona centro, la erosión severa y ligera ha aumentado (Haro *et al*, 2024).

Segura y Ferreira (2020) estudiaron la problemática de erosión hídrica para las cuencas hidrográficas de los embalses de Sabana Yegua y Tavera con la finalidad de estimar la calidad nutricional de los sedimentos almacenados en ambos. Los factores humanos y naturales alteran la estructura de la cobertura boscosa impactando los procesos hidrológicos que determinan las relaciones precipitación, infiltración y escorrentía influenciando los procesos erosivos. El estudio contempló la posibilidad de extraer sedimentos de los embalses y la posibilidad de usarlos como enmienda de suelos.

En gran medida, en la parte alta de la subcuenca el bosque de conífera ha sido sustituido por cultivos de ciclo corto, conservándose mayormente en el área ocupada por el Parque Nacional José del Carmen Ramírez (Gold Quest, 2016). La vegetación de bosque seco está presente en la parte sur de la cuenca que es la zona más baja, donde la precipitación es menor y las temperaturas son más altas (MMARN, 2024).

El 9.12% de los suelos objeto de estudio son cultivables (Clase II). El 8.82% cultivables con factores limitantes de alguna severidad, como la profundidad efectiva (Clase III). Los suelos de la Clase IV ocupan el 5.35%, son suelos limitados para cultivos, presentan limitantes severas. Los suelos de la Clase V presentan limitantes de drenaje, ocupan el 3.65% e incluyen terrenos de montañas, con topografía accidentada. Los suelos de la Clase VI son aptos para bosques, pastos y cultivos de montañas, ocupando el 10.13% del área total. La Clase VII incluye terrenos de montaña con topografía accidentada, no cultivables, aptos para fines de explotación forestal (62%). La Clase VIII son suelos no cultivables, aptos solamente para parques nacionales y zonas de vida silvestre (0.12%) (MMARN, 2012a).

El sobreuso del suelo impera en la parte alta de la subcuenca con intensa actividad agrícola, que incluye cultivos de ciclo corto y ganadería extensiva. En cambio, en la parte plana existen porciones importantes de terrenos que aún siguen subutilizados, principalmente, en la margen izquierda del río San Juan y ambas márgenes del río Bao (MMARN, 2012b).

Trabajos realizados aguas arriba de la presa de Sabaneta el INDRHI (2014) indican que el 28.73% de los suelos presentan niveles de erosión dentro de los límites permisibles (<10 t/ha·año), en el restante 71.27% la erosión supera los límites permisibles.

La dinámica compleja entre recursos naturales, seres humanos y fenómenos naturales trae consigo cambios en el suelo que pueden conducir a su deterioro si no se observan criterios que tiendan a su uso racional y conservación. El propósito de este trabajo fue evaluar la variación temporal de los niveles de erosión en la subcuenca del río San Juan mediante el uso de herramientas de Sistema de Información Geográfica durante los periodos 1986-2000 y 2014-2024.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la subcuenca del río San Juan que se encuentra ubicada entre las coordenadas 18.95° N, 18.65° N, -71.45° O y -70.90° O; perteneciente a la cuenca del río Yaque del Sur, con un área de 2,023.23 km². Tiene como tributarios a los ríos Mijo, Maguana, Jínova, Dajay de la vertiente sur de la Cordillera Central y al río Bao en la vertiente norte de la Sierra de Neiba (MMARN, 2012a e IICA, 1992). Se trata de una zona correspondiente a bosque húmedo montano bajo según la clasificación de Holdridge (MMARN, 2012c). En el valle la pluviometría es de 950 mm y temperatura 24.9°C, mientras que en la parte alta la pluviometría es de 1200 mm y la temperatura media 18°C (Gold Quest, 2016).

Para realizar este trabajo se usaron Cartas Topográficas del Instituto Cartográfico Militar (ICM, 1986), Imágenes de Satélite Lanst 5 (USGS 1986), Lansat 7 (USGS 2000), Lansat 8 (USGS 2014) y Lansat 9 (USGS 2024). Además de imágenes de características de suelo (ISRIC, 2020) e imágenes de clima (Fick y Hijmans 2017).

La investigación fue no experimental con diseño cuantitativo y alcance descriptivo y relacional. Se ha empleado la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (Wischmeier y Smith, 1978) para estimar la erosión:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Donde:

A: Promedio anual de pérdida de suelo, en t/ha/año

Factor R

R: Es el factor de erosividad de la lluvia. Sus dimensiones son $J/m^2 \cdot cm/h/año$. Se calcula como $R = 0.5P$, recomendada para zonas tropicales y usada por Pando et al. (2003) citando a Young, Donde P es la precipitación acumulada anual en mm

Factor K

K: Es el factor erosionabilidad del suelo. Es la cantidad promedio de suelo perdido por unidad de factor R, $[t.m^2.h/J.ha.cm]$

Este factor se puede determinar a partir de $K = 0.031 - 0.00022(\%arcilla) + 0.00015(\%limo) + 0.00087(arena)$, que es apropiada para suelos tropicales. Se usó esta aproximación, que ha sido usada por Duran-Zuazo et al (2004) para trabajos sobre erosión y conservación, por su sencillez, ya que solo requiere datos granulométricos.

Factor LS

LS: Es el factor topográfico. Se determina a partir de:

$$LS = \frac{(A_{Flow})^m (\sin \beta)^n}{22.13 \cdot 0.0896}$$

Donde:

A_{Flow} = Área de contribución aguas arriba por unidad de ancho (m^2/m)

β = Angulo de la pendiente en grados

m y n son exponentes empíricos:

m= 0.4 (para pendientes < 1%)

m= 0.5 (para pendientes 1-5%)

m= 0.6 (para pendientes > 5%)

n = 1.3

Esta una herramienta que ofrece el programa QGIS 3.20

Factor C

C: Es el factor de cobertura y manejo. Relacionando el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) con el Factor C: El Factor C en USLE varía entre 0 (protección total, ej. bosque) y 1 (suelo desnudo).

Primero se calculó el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) según la ecuación: y luego se transformó a factor C mediante la siguiente fórmula según Van der Knijff *et al.* (2000):

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

Donde:

NIR es la intensidad de la luz en el infrarrojo cercano

RED es la intensidad de la luz en la banda roja (Belasri y Lakhouili 2016)

Transformación del NDVI en Factor C:

$$C = e^{(-\alpha \cdot NDVI / \beta)}$$

Donde α y β son parámetros ajustables (ej. $\alpha=2$, $\beta=1$ según estudios como el de Van derKnijff *et al.*, 2000).

Factor P

P: es el factor de prácticas mecánicas contra la erosión. Se consideró igual a uno, porque en la zona no se hacen prácticas mecánicas.

Se obtuvo mapas para cada uno de los factores de la ecuación y, posteriormente, se integraron a través de la calculadora ráster de QGIS 3.20, dando salida a mapas de erosión de los años 1986, 2000, 2014 y 2024.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el año 1986, 34,694 ha, (13.36% del área de la subcuenca) presentaban erosión dentro de los rangos permisibles (<10 t/ha.año), mientras que 122,923 ha equivalentes a 47.33% de la superficie presentaba niveles de erosión entre 10-20 t/ha.año, en tanto que 84,540 ha (32.55%) los niveles de erosión estaban entre 20-50 t/ha.año (Figura 1).

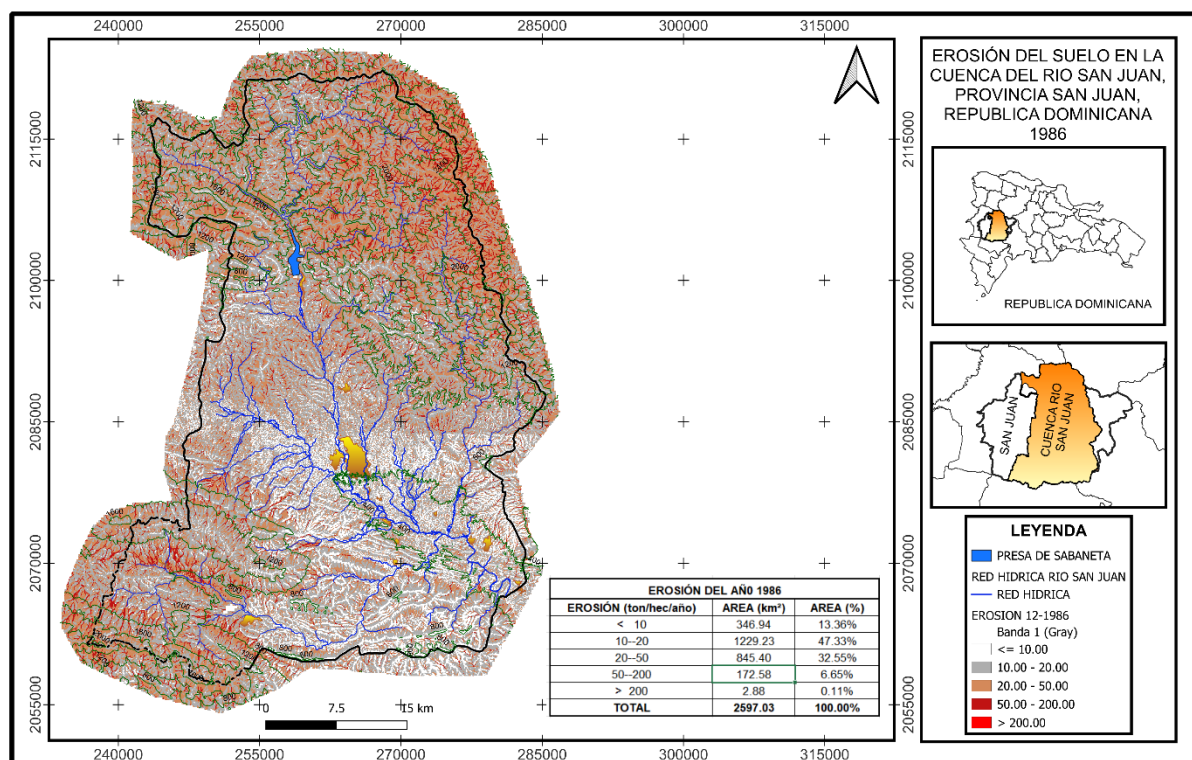
Para el año 2000 la superficie con erosión permisible (<10 t/ha.año) disminuyó a 25,737 ha (9.91 %) lo que significa un aumento en la superficie con mayores niveles de erosión de 3.45% con respecto a 1986, de igual forma el área afectada con erosión moderada fue de 130,238 ha (50.15%) (Tabla 1), 2.82% más que el período anterior.

En 2014 se refleja una reducción de los niveles erosivos, ya que la superficie afectada por una erosión permisible fue 39,933 ha (15.38% del área total), incrementando en 5.47% la superficie con erosión leve o permisible, en cuanto a las áreas afectadas por niveles de erosión de 20-50 t/ha.año se produjo un descenso de 3.79% al pasar de 86,243 ha en 2000 a 76,163 ha.

Para el 2024 la superficie con erosión permisible (<10 t/ha.año) fue de 86,243 ha (15.99%) 2.63% más que en el 1986, mientras que la afectada erosión leve (10-20 t/ha.año) fue 125,924 ha (48.49% de la superficie total) (Figura 2), 1.16% más que en 1986, pero la erosión moderada (20-50 t/ha.año) de 84,540 ha a 77,012 ha (29.65%) para una reducción de 2.90% del área afectada de ese nivel erosivo.

En ese comportamiento de la erosión parece haber influido la implementación de diversos programas ejecutados en la subcuenca como el Proyecto para el Desarrollo Agrícola de San Juan (Prodas), además del Proyectos de Desarrollo Agroforestal que han incluido componentes de reforestación en la subcuenca.

Figura 1. Mapa de distribución espacial de la erosión en la subcuenca del río San Juan año 1986



Tal y como se observa en las figuras 1 y 2 los menores niveles de erosión se producen en la parte baja de la cuenca ente los 400 y 800 msnm indicando esto que en la parte media y alta de la cuenca deben continuar los esfuerzos tendentes a reducir los niveles de erosión, ya que superan los rangos permisibles.

Aunque altos, estos niveles son inferiores a los encontrados por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos en la subcuenca aportante de presa de Sabaneta (INDRHI, 2014), que encontró que solo el 28.73% de los suelos sufre una erosión dentro de los límites permisibles (<10 t/ha·año), en el restante 71.27% la erosión supera los límites permisibles, siendo crítico el 14.22% del área donde la erosión hídrica supera las 200 t/ha·año.

Los niveles de erosión en esta subcuenca son inferiores a los reportados por Consorcio Proyecta, C x A – Ingeniería Caura (2013) para los tres ríos principales de la cuenca de la presa de Sabana Yegua, donde en el menor de los casos superan 260 t/ha·año.

Los valores de erosión pudieran relacionarse con la actividad agrícola predominante en la zona, ya que la minera Gold Quest (2016) informa que los cultivos agrícolas aguas arriba de la presa de Sabaneta se localizan en las pendientes de las montañas y en los pequeños valles y zonas semi-llanas.

Trabajos de diagnósticos realizados previo a la ejecución del Proyecto de Desarrollo Agrícola de San Juan (Prodas) en el año 1991 indican que parte alta de la cuenca fuera del Parque Nacional José del Carmen Ramírez solo había 1000 ha de bosque y 8400 ha en uso inadecuado con pastizales, donde la erosión estimada superaba las 185 t/ha.año, por tanto, recomendaban la repoblación forestal principalmente con *Pinus occidentalis* (Ramírez, 1991).

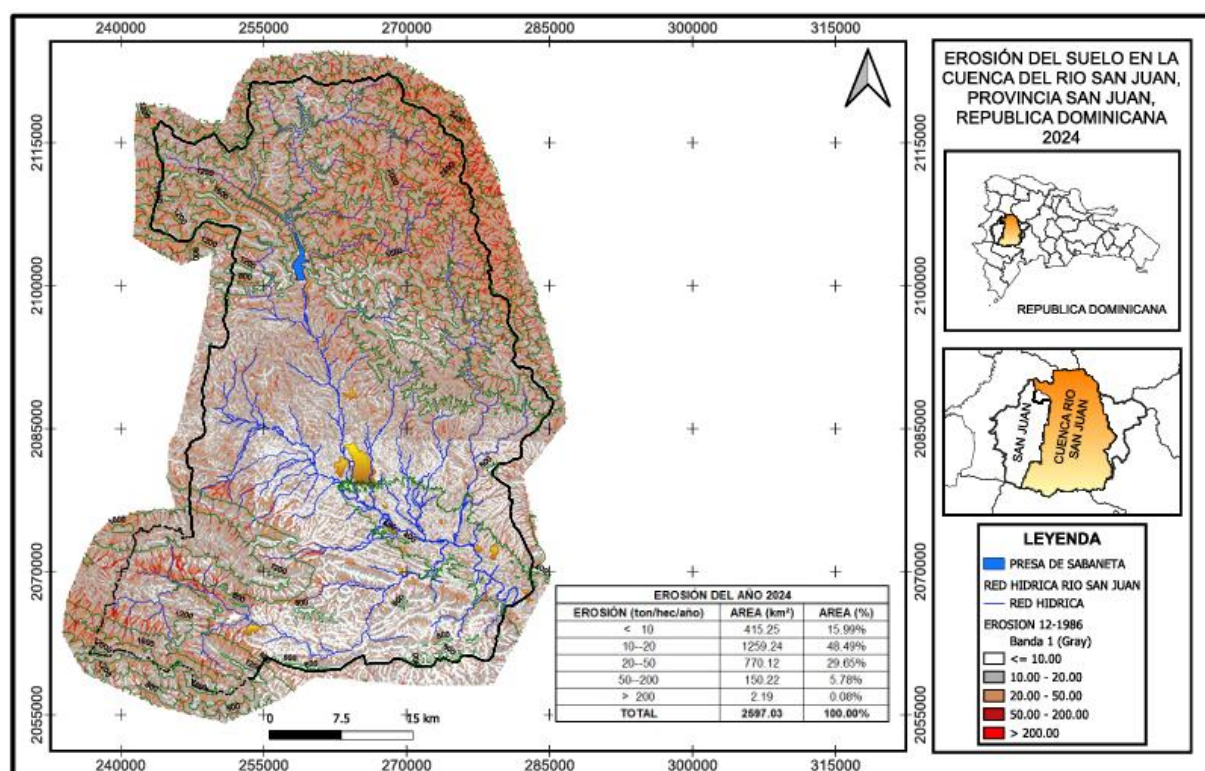
Tabla 1.

Evolución de la erosión hídrica en la subcuenca del río San Juan período 1986-2024

Año	Nivel de erosión (t/ha.año)	Área (km ²)	Área (%)
1986	<10	346.94	13.36
	10-20	1229.23	47.33
	20-50	845.40	32.55
	50-200	172.58	6.65
	>200	2.88	0.11
2000	<10	257.37	9.91
	10-20	1302.38	50.15
	20-50	862.43	33.12
	50-200	172.36	6.64
	>200	2.49	0.10
2014	<10	399.33	15.38
	10-20	1,289.32	49.65
	20-50	761.63	29.33
	50-200	144.76	5.57
	>200	1.99	0.08
2024	<10	415.25	15.99
	10-20	1259.24	48.49
	20-50	770.12	29.65
	50-200	150.22	5.78
	>200	2.19	0.08

Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Mapa de erosión de la subcuenca del río San Juan año 2024



4. CONCLUSIONES

Los resultados indican que en el periodo 1986-2000 se produjo un aumento considerable en los niveles de erosión, sobre todo en los niveles de erosión leve y moderada.

Durante el período 2000-2014 se produjeron importantes reducciones en los niveles de erosión en la subcuenca del río San Juan produciéndose un importante aumento de las áreas dentro de los niveles de erosión permisible.

El período 2014-2024 se mantuvo sin cambios importantes en cuanto a reducción de los niveles de erosión, siendo necesario aumentar los esfuerzos en ese sentido para no retroceder en torno a lo logrado.

En la parte baja de la subcuenca es donde se producen los menores niveles de erosión, al igual que donde son más bajos los niveles de cobertura vegetal, lo que sugiere aumentar los esfuerzos en la implantación de programas de manejo para disminuir los niveles de erosión en la parte media y alta.

5. REFERENCIAS

- ALVARADO, N., & MAINATO, F. (2021). "Herramientas SIG para el estudio de la cobertura vegetal y cambio de uso de suelo en el cantón Chunchi, provincia del Chimborazo". *Ecuador*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20104/1/UPS-CT009032.pdf>
- BELASRI, A. & LAKHOULI, A. (2016). "Estimation of Soil Erosion Risk Using the Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geo-Information Technology in Oued El Makhazine Watershed, Morocco". *Journal of Geographic Information System*, 8: 98-107. <https://doi.org/10.4236/jgis.2016.81010>
- CONSORCIO PROYECTA, C x A – INGENIERÍA CAURA. (2013). "Plan Maestro Actualizado para el Manejo de las Cuencas Altas de la Presa de Sabana Yegua". *Sur Futuro. Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales*. Disponible en: <https://bvearmb.do/handle/123456789/1959>
- DURÁN ZUAZO, V. H., FRANCIA-MARTÍNEZ, J. R., y MARTÍNEZ-RAYA, A. (2004). *Impact of vegetative cover on runoff and soil erosion at hillslope scale in Lanjaron, Spain*. *Environmentalist* 24: 39-48. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/B:ENVR.0000046345.44569.35>
- FICK, S.E. Y HIJMANS. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolutions climate Surface for global land áreas. Disponible en: <https://www.worldclim.org/data/monthlywth.html>
- FORMAGGIO, L. (2024). *Geociencias, hidrogeología-hidrología*. *Revista Ciencias de la Tierra*. <https://revistacienciasdelatierra.com/geociencias/que-es-una-cuenca-hidrografica/10500/>
- GARCÍA-MUÑOZ, T. Y GILER-ORMASA, A. (2021). Análisis de estacionalidad del caudal y la dinámica del régimen fluvial: *Aplicación al río Guayllabamba*. *Ecuador*. Disponible en: [Dialnet-AnalisisDeEstacionalidadDelCaudalYLaDinamicaDelReg-8016987%20\(1\).pdf](https://dialnet-analisisdeestacionalidaddelcaudalyladinamicaadelreg-8016987%20(1).pdf)
- GOLD QUEST. (2016). *Estudio técnico económico proyecto minero Romero*. <https://mem.gob.do/wp-content/uploads/2019/02/Estudio-Tcnico-Econmico-Minero-Proyecto-Romero.pdf>
- HARO, R., ESPINOSA, J., MORENO, V. y SUANGO, V. (2024). "Estimación de la erosión de la Sierra centro y norte del Ecuador, utilizando geoinformación". *Siembra* 11 (3) (Especial):e5550. Edición especial: Memorias Del IV Simposio Internacional por el día mundial del suelo. <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/5550>
- INDRHI (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos). (2014). *Análisis de métodos empíricos de erosión y sedimentos. Proyecto de modelamiento de los regímenes hidrológicos y de los procesos erosión/sedimentación y simulación de escenarios para la restauración de cuencas hidrográficas*.
- ICM (Instituto Cartográfico Militar). (1986). *Cartas Topográficas de Republica Dominicana*.

- ISRIC (World Soil Information). (2024). Características de los suelos. Disponible en: <https://www.soilgrids.org/>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (1992). *Proyecto de desarrollo sostenible en San Juan de la Maguana. Volumen II. Análisis hidrológico*.
- MARTÍNEZ-BATLLE, J.R., & IZZO, M. (2023). "Generación de red hidrográfica densa de República Dominicana a partir de modelo digital de elevaciones de resolución media". *SciELO Preprints*. <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.7056>
- MMARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2012a). *Mapa de capacidad productiva de los suelos cuenca río Yaque del Sur*. <https://ambiente.gob.do/app/uploads/2016/12/Yaque-del-Sur-Capacidad-Productiva.pdf>
- MMARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2012b). *Mapa de conflicto de uso de los suelos cuenca río Yaque del Sur*. <https://ambiente.gob.do/app/uploads/2016/12/Yaque-del-Sur-Conflicto-de-Uso-2012.pdf>
- MMARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2012c). *Mapa de zonas de vida de la cuenca del río Yaque del Sur*. <https://ambiente.gob.do/app/uploads/2016/12/Yaque-del-Sur-zonas-de-vida.pdf>
- MMARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2024). *Mapa de cobertura de la subcuenca del río San Juan. Comunicación vía correo electrónico*.
- PANDO, M., GUTIÉRREZ, M., MALDONADO, A. PALACIO, J.L. y ESTRADA, E. (2003). "Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica". *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 51, 23-36. Disponible en: <http://scielo.unam.mx/pdf/igeo/n51/n51a3.pdf>
- RAMÍREZ, J. (1991). *Proyecto de Desarrolla Agrícola Sustentable en San Juan de Maguana. Diagnóstico Biofísico*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Santo Domingo. RD. Disponible en: <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://repositorio.iica.int/server/api/core/bitstreams/2fe9e861-e15d-4634-9dba-9a9f64d920c6/content>
- ROSATTO, H., MOYANO, G.; CAZORLA, L.; MEYER, M.; LAUREDA, D.; PÉREZ, D.; BARGIELA, M.; GAMBOA, P.; OLIVIERI, A.; SBARRA, G.; AULESTIA, M.; EPSTEIN, Y.; VICECONTE, F.; SIMONYAN, M.; REQUEJO, I.; DANIEL, A.; MIRANDA, B., ROCCA C. (2020). "Diez años de investigaciones en cubiertas vegetadas de tipo extensivo: Una síntesis de los resultados obtenidos". *Aqua-LAC*, 12(2), 78–84. <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2020-v12-2-07>.
- EGURA, B., & FERREIRA DA FONSECA, R.M. (2020). "Aprovechamiento de los sedimentos de los embalses como nutrientes para la fertilización de suelos agrícolas en la República Dominicana". *Aqua-LAC*, 12(2), 15–36. <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2020-v12-2-02>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2013). *Cuencas hidrográficas: Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001596.pdf>
- USGS. (United State Geological Survey). (1986). *Imágenes Landsat 5 TM*. Disponible en: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- USGS. (United State Geological Survey). (2000). *Imágenes Landsat 7 ETM+*. Disponible en: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. (United State Geological Survey). (20014). *Imágenes Landsat 8 OLI/TIRS*. Disponible en: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. (United State Geological Survey). (2024). *Imágenes Landsat 9*. Disponible en: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- VAN DER KNIJFF, J.M., JONES, R.J.A., MONTANARELLA L. (2000). "Soil erosion risk assessment in Italy". Disponible en: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/serae/GRIMM/italia/eritaly.pdf
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. (1978) *Predicción de pérdidas por erosión pluvial*. Guía para la planificación de la conservación. Manual Agrícola del USDA n.º 537, Maryland.