

Degradación Hidrológica en la Subcuenca del Río Pueblo Llano: Análisis Técnico, Uso del Suelo y Perspectivas Normativas (2000-2025)

Hydrological degradation in the Pueblo Llano river sub-basin: technical analysis, land use and regulatory perspectives (2000-2025)

Omar Molina Martín¹

Fecha de Recepción: 19 de noviembre de 2025

Fecha de Aceptación: 12 de enero de 2026

RESUMEN

La subcuenca del río Pueblo Llano, ubicada en el estado Bolivariano de Mérida (Venezuela), constituye un territorio estratégico para la producción agrícola y el abastecimiento hídrico regional; sin embargo, en las últimas décadas ha experimentado un proceso progresivo de degradación ambiental asociado a la expansión agrícola, la pérdida de cobertura vegetal y el uso intensivo del suelo. Este estudio analiza la evolución hidrológica durante el período 2000–2025 mediante herramientas geomáticas, clasificación multitemporal de coberturas, datos de precipitación CHIRPS y el método del Número de Curva (CN). Los resultados evidencian una pérdida aproximada de 730 ha de bosque natural, un incremento del CN efectivo de 73,90 a 75,91 y una reducción sostenida de la capacidad de infiltración, lo que incrementa la escorrentía superficial y la vulnerabilidad a procesos erosivos; una alta variabilidad interanual de la precipitación que intensifica los riesgos hidrológicos; y debilidades en la aplicación de la ley venezolana.

Palabras Clave: degradación hidrológica, uso del suelo, deforestación, Número de Curva (CN), geomática ambiental.

ABSTRACT

The Pueblo Llano River sub-basin, located in the Bolivarian State of Mérida (Venezuela), is a strategic territory for agricultural production and regional water supply. However, in recent decades it has experienced a progressive process of environmental degradation associated with agricultural expansion, loss of vegetation cover, and intensive land use. This study analyzes the hydrological evolution during the period 2000–2025 using geomatic tools, multitemporal land cover classification, CHIRPS precipitation data, and the Curve Number (CN) method. The results show an approximate loss of 730 hectares of natural forest, an increase in the effective CN from 73.90 to 75.91, and a sustained reduction in infiltration capacity, which increases surface runoff and vulnerability to erosion; high interannual precipitation variability that intensifies hydrological risks; and weaknesses in the application of Venezuelan law.

Keywords: hydrological degradation, land use, deforestation, Curve Number (CN), environmental geomatics.

¹ Geógrafo (Universidad de Los Andes - ULA), Magister Scientiae en Gestión de Recursos Naturales Renovables y Medio Ambiente (Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial - CIDIAT-ULA). Maestrante en Desarrollo Agrario (Centro de Estudios Rurales Andinos C.E.R.A. - ULA). [ORCID: https://orcid.org/0009-0002-3491-8365](https://orcid.org/0009-0002-3491-8365) [E-Mail: khayyam28@gmail.com](mailto:khayyam28@gmail.com)

INTRODUCCIÓN

La subcuenca del río Pueblo Llano conforma la totalidad del municipio Pueblo Llano en el estado Bolivariano de Mérida y constituye un territorio clave para la producción agrícola y el abastecimiento hídrico regional. Su matriz agroproductiva se fundamenta en cultivos de papa, zanahoria y otras hortalizas de ciclo corto, actividades que han generado una presión creciente y acumulativa sobre la cobertura vegetal originaria (Corpoandes, 2006). Esta dinámica coincide con los patrones descritos por Montgomery (2007), quien advierte que las agriculturas intensivas en laderas aceleran los procesos erosivos y comprometen la sostenibilidad hidrológica de las cuencas de montaña.

A pesar de su importancia económica, las prácticas agrícolas del municipio se han desarrollado históricamente sin incorporar de manera suficiente los impactos ambientales asociados al uso intensivo del suelo, la deforestación y la aplicación masiva de agroquímicos, afectando tanto la salud ecosistémica como la disponibilidad del recurso agua (Marín Lara Calderón, 2014¹). Esta situación se corresponde con los hallazgos de Oldeman et al. (1991) y Lal (1998, 2015), quienes muestran que el laboreo continuo, la sobreexplotación edáfica y la sustitución de bosques por cultivos derivan en degradación física y química de los suelos, disminución de la infiltración y aumento de la escorrentía superficial.

En el ámbito socio productivo, los sistemas paperos de los Andes venezolanos han mostrado un notable éxito económico; sin embargo, evidencian signos de agotamiento tecno-ambiental. Romero (2003) identifica factores como el uso de paquetes tecnológicos no sustentables, el agotamiento de los procesos agroecológicos, la presión demográfica y la erosión institucional como elementos que han deteriorado los agroecosistemas de montaña. Este diagnóstico guarda relación con las investigaciones de Altieri y Nicholls (2017) sobre sistemas agrícolas intensivos en zonas altoandinas, quienes subrayan que el monocultivo, la baja diversidad genética y el uso indiscriminado de agroquímicos generan círculos viciosos de degradación ambiental.

La presente investigación analiza la evolución de la pérdida de bosques, el incremento de áreas agrícolas y los cambios hidrológicos derivados en la subcuenca del río Pueblo Llano durante el período 2000–2025. Para ello, se emplean herramientas geomáticas y análisis multitemporal de coberturas, se examina la variabilidad climática y se estiman parámetros hidrológicos como el Número de Curva (CN). Estos insumos permiten evaluar el comportamiento de la producción hídrica y su correspondencia con el marco jurídico nacional, constituyendo la base para un análisis legal posterior orientado a la recomendación de formular instrumentos normativos municipales.

DESARROLLO

1. Marco físico-natural del municipio Pueblo Llano

El municipio Pueblo Llano presenta un relieve abrupto con pendientes superiores al 40 % en más del 70 % de su superficie (Corpoandes, 2006). Estas condiciones son típicas de los Andes tropicales y limitan la aptitud agrícola, incrementando la susceptibilidad a erosión. Investigaciones de Bruijnzeel (2004) y García-Chevesich (2010) evidencian que los sistemas de montaña sometidos a perturbación agrícola tienden a experimentar pérdidas severas de suelo, alteración del ciclo

¹ Marín Lara Calderón (2014) señala que la expansión de la frontera agrícola ha reducido significativamente los reservorios de vegetación, que la deforestación en las nacientes de agua ha disminuido el suministro hídrico, provocando racionamiento en el casco central de Pueblo Llano, y que el uso indiscriminado de agroquímicos afecta tanto a agricultores como a la población local y aguas abajo.

hidrológico y disminución en la retención de humedad.

Los suelos del municipio, de tipo paramero y de montaña, presentan texturas predominantemente francas a franco-arenosas, baja profundidad efectiva y alta vulnerabilidad a la degradación. Esto concuerda con estudios de la FAO (2015), que advierten sobre la fragilidad de los suelos de alta montaña frente a prácticas como el laboreo intensivo, el uso excesivo de maquinaria y la ausencia de prácticas de conservación. Investigaciones regionales en Colombia y Ecuador (Beskow et al., 2013; Buytaert et al., 2006) coinciden en que la perturbación del suelo en ecosistemas andinos reduce la infiltración y acelera la formación de cárcavas.

Las condiciones climáticas templado-frías con precipitaciones anuales entre 900 y 1.200 mm favorecen la presencia de bosques nublados y vegetación paramera, fundamentales para la regulación hídrica. Bruijnzeel y Bonell (2011) sostienen que los bosques montanos húmedos desempeñan un rol crítico en la intercepción de neblina y en la liberación gradual del agua hacia las cuencas, contribuyendo a la estabilidad del flujo base. La remoción de estas coberturas afecta directamente los procesos de captura de humedad horizontal, un fenómeno crucial en zonas de alta montaña.

Corpoandes (2006) advierte que a inicios del siglo XXI el municipio experimentaba una degradación acelerada del suelo por el uso intensivo de gallinaza, la ampliación de cultivos en terrenos no aptos y la ausencia de obras de conservación como curvas a nivel o terrazas. Esta problemática es consistente con los estudios de Panagos *et al.* (2015) sobre erosión inducida por actividades agrícolas sin manejo conservacionista.

Según Llambí y Arias (1997), el Valle de Pueblo Llano presenta suelos arenosos y franco-arenosos, predominio de planos inclinados de pendientes suaves a fuertes, altitudes entre 2.200 y 3.600 msnm, precipitaciones anuales de 1.300 a 1.600 mm y temperaturas promedio de 6 a 16 °C.

2. Cobertura vegetal y disponibilidad de agua

A nivel nacional, la deforestación en Venezuela responde, principalmente, a la expansión agrícola y al crecimiento poblacional, factores descritos por Pacheco *et al.* (2011) como motores históricos de transformación territorial. La subcuenca del río Pueblo Llano refleja este mismo patrón: la conversión continua de bosque a cultivos ha fragmentado los ecosistemas nativos y reducido su capacidad de regulación hídrica. Investigaciones de López-Moreno *et al.* (2014) y Guzmán *et al.* (2017) han demostrado que la pérdida de bosques produce incrementos en los picos de caudal, disminuye la recarga de acuíferos y eleva la vulnerabilidad ante eventos extremos.

Goldstein *et al.* (2012) evidencian que la fragmentación de bosques y páramos compromete la sostenibilidad hídrica andina¹, al reducir los procesos de infiltración y el almacenamiento natural de agua. Estos hallazgos coinciden con Buytaert y De Bièvre (2012), quienes han documentado que los páramos andinos actúan como reguladores hidrológicos esenciales, amortiguando las variaciones estacionales de lluvia.

En Pueblo Llano, el avance de la agricultura intensiva ha derivado en una reducción de la disponibilidad de agua, generando racionamientos en el casco urbano (Marín Lara Calderón, 2014). Investigaciones de Smith y Cano (2022) refuerzan que los impactos combinados de agricultura intensiva y cambio climático afectan la biodiversidad, la retención hídrica y la resiliencia ecológica en zonas altoandinas.

¹ Según Goldstein *et al.* (2012), la reducción y fragmentación del bosque impacta directamente la estructura del paisaje y su capacidad como sistema receptor y regulador del agua; la presión combinada de procesos ecológicos y urbanos aumenta la demanda hídrica y las aguas residuales, especialmente en secciones medias de las cuencas, lo que resalta la necesidad de evaluar detalladamente la fragmentación y conectividad de los parches de áreas silvestres para determinar la vulnerabilidad de los sistemas de paisaje.

3. Metodología

La metodología emplea un enfoque geomático e hidrológico que integra análisis multitemporal de coberturas, series climáticas y parámetros hidrológicos, apoyándose en criterios técnicos validados en la literatura hidroambiental.

3.1. Delimitación de la subcuenca

Para determinar con precisión el área de la subcuenca del río Pueblo Llano, se utilizaron 20 Modelos de Elevación Digital (DEM) de 5 m de resolución, integrados en un mosaico dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Esto permitió recortar y georreferenciar la subcuenca utilizando la proyección UTM y el Datum REGVEN 19 N, obteniéndose un área de 9.429,62 ha y un perímetro de 60,63 km (Imagen 01).

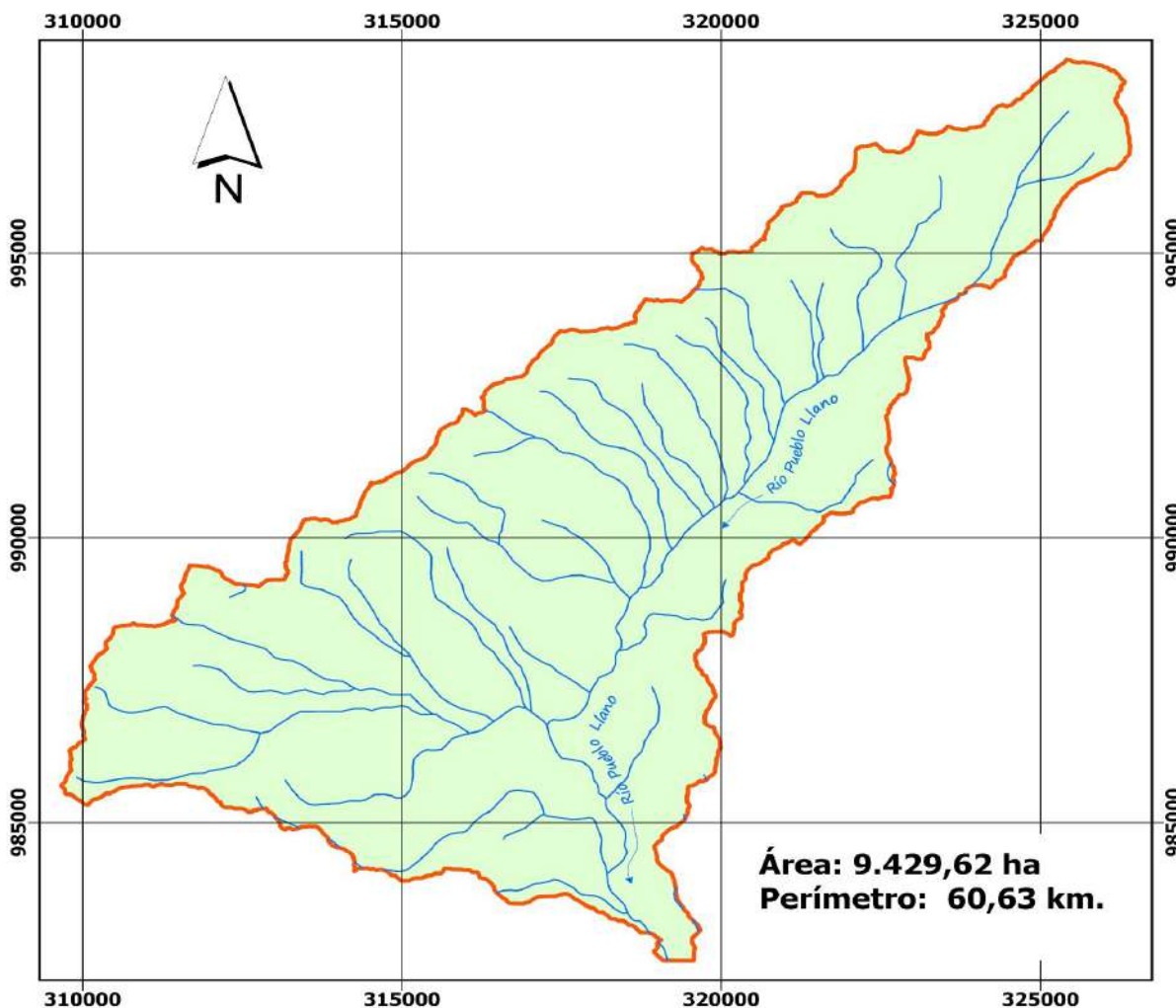
La delimitación se realizó considerando coordenadas UTM en la Zona 19P, extendiéndose aproximadamente: al norte en 998.399,41 N - 325.411,96 E, al este en 996.867,93 N - 326.407,20 E, al sur en 982.577,57 N - 319.566,47 E y al oeste en 985.649,23 N - 309.666,18 E. Esta precisión facilita la reproducibilidad del estudio y constituye una base confiable para todos los análisis posteriores.

El empleo de DEM de alta resolución permite definiciones más exactas de los límites de la subcuenca, lo que optimiza los cálculos hidrológicos, la evaluación de la conectividad de los cursos de agua y la planificación de estrategias de manejo ambiental.

Asimismo, se elaboró una hipsometría 3D de la subcuenca para representar la variación altitudinal de los distintos sectores. Esta visualización permite identificar áreas de acumulación de agua y contribuye a la clasificación más precisa de las coberturas vegetales, considerando que los rangos altitudinales condicionan el crecimiento de la vegetación. Por ejemplo, la vegetación de páramo se encuentra predominantemente por encima de los 3.000 msnm, lo que facilitó su delimitación en las imágenes satelitales (Imagen 02).



Subcuenca del río Pueblo Llano Estado Bolivariano de Mérida. Municipio Pueblo Llano. Escala: 1/100.000. Año: 2025



Situación Relativa Nacional



Situación Relativa Regional



Imagen 01. Mapa de la Subcuenca del Río Pueblo Llano. Fuente: Elaboración propia a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM - Mosaico), de 5 m. de resolución y procesos para la delimitación de la subcuenca en QGIS. Proyección U.T.M. Datum: RegVen 19 N.

Hipsometría 3D subcuenca del río Pueblo Llano

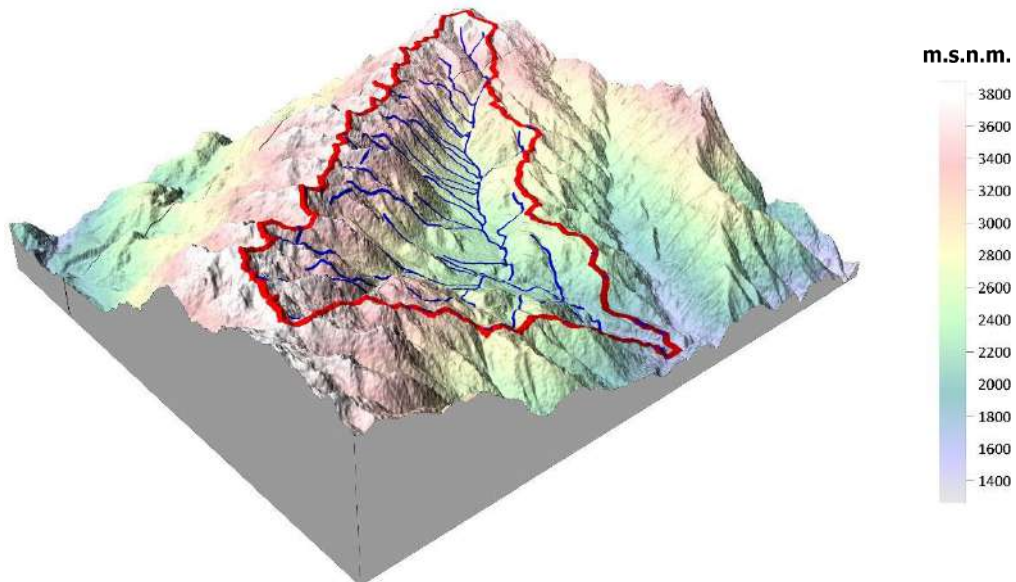


Imagen 02. Hipsometría 3D de la subcuenca del río Pueblo Llano.

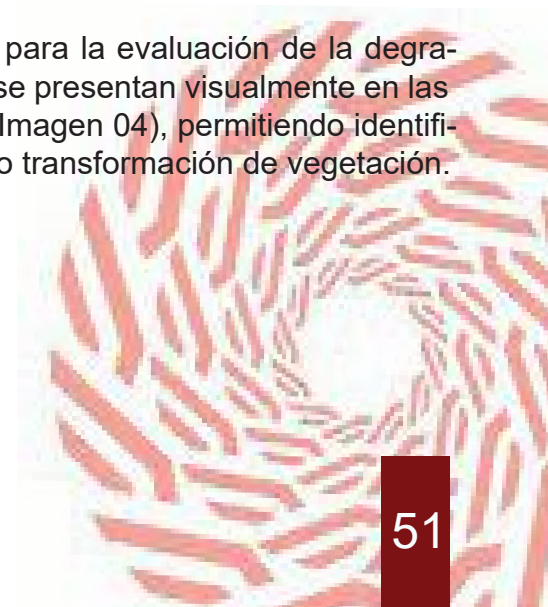
Fuente: Elaboración propia a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM - Mosaico) y procesos en Surfer.

3.2. Clasificación de cobertura terrestre

Para obtener las superficies de las coberturas del uso del suelo (Tabla 01), se aplicó el SIG QGIS junto con imágenes satelitales Landsat 7 (año 2000) y Landsat 9 (año 2025) de la zona de estudio. El procedimiento siguió cuatro etapas principales:

(1) Preprocesamiento, que incluyó corrección radiométrica de las imágenes y reproyección a la misma proyección UTM para garantizar consistencia espacial; (2) Delimitación de polígonos de entrenamiento, definidos según los tipos de cobertura presentes: bosque denso, bosque semidenso, cultivos y vegetación de páramo, esta última asociada a zonas de alta montaña por encima de los 3.000 msnm; (3) Clasificación supervisada, aplicando el algoritmo de máxima verosimilitud, que permitió asignar a cada píxel la categoría de cobertura correspondiente de manera probabilística; y (4) Post-procesamiento y cálculo de áreas, mediante el cual se generaron las superficies totales de cada cobertura para los años analizados.

Las coberturas clasificadas constituyen una materia fundamental para la evaluación de la degradación hidrológica y la estimación de parámetros como el CNef, y se presentan visualmente en las imágenes correspondientes a los años 2000 (Imagen 03) y 2025 (Imagen 04), permitiendo identificar cambios en la ocupación del suelo y áreas críticas de pérdida o transformación de vegetación.



Coberturas de uso del suelo año 2000

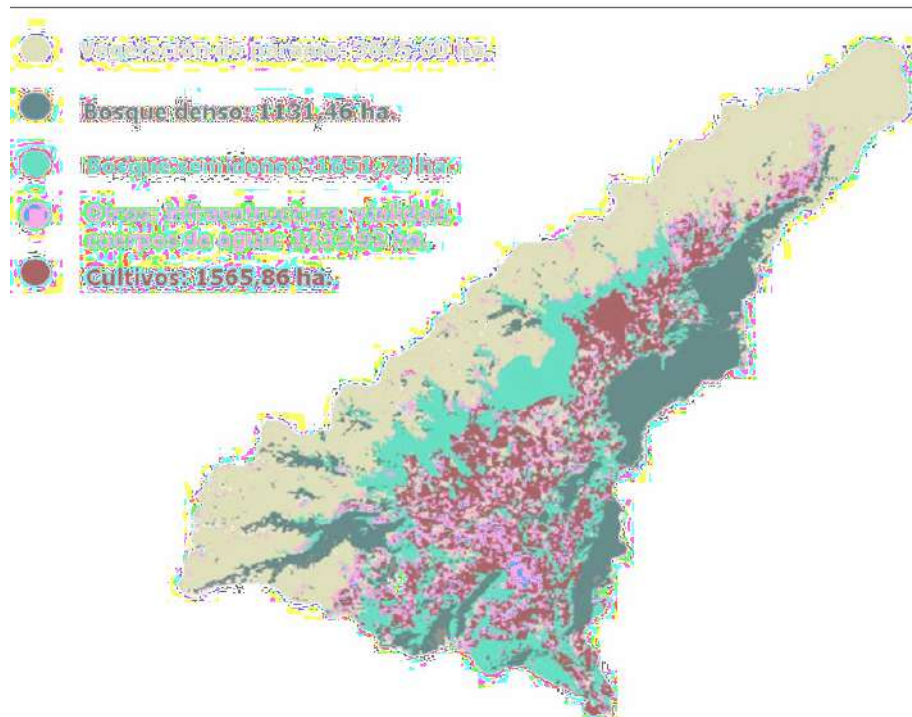


Imagen 03. Coberturas de uso del suelo de la subcuenca del río Pueblo Llano, año 2000.

Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes Landsat 7 ETM+ y clasificación supervisada realizada en QGIS.

Coberturas de uso del suelo año 2025

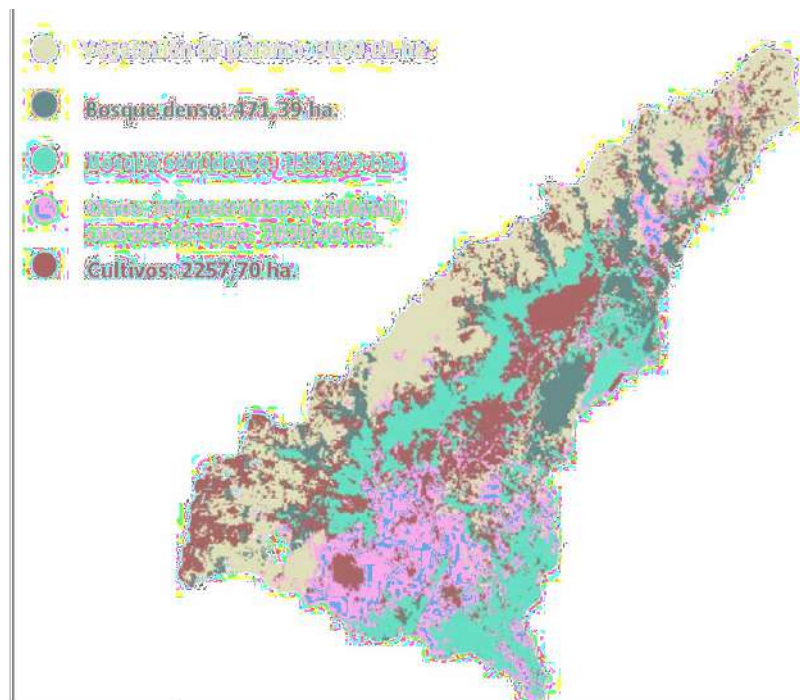


Imagen 04. Coberturas de uso del suelo de la subcuenca del río Pueblo Llano, año 2025.

Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes Landsat 9 y clasificación supervisada realizada en QGIS

Superficies de la cobertura del suelo 2000 - 2025.

| Clase | Área 2000 (ha) | Área 2025 (ha) |
|-------------------|----------------|----------------|
| Bosque Denso | 1131,46 | 471,39 |
| Bosque semidenso | 1651,78 | 1581,03 |
| Cultivos | 1565,86 | 2257,70 |
| Vegetación páramo | 3645,60 | 3099,01 |
| Total parcial | 7994,70 | 7409,13 |
| *Otros | 1432,92 | 2020,49 |
| Total General | 9429.62 | 9429.62 |

Tabla 01. Superficies de la cobertura del suelo 2000 - 2025. Fuente: Elaboración propia.

*La categoría “Otros” incluyen cuerpos de agua, infraestructura, vialidad, etc., para los cálculos posteriores se considerará el total parcial para los años 2000 y 2025.

3.3 Datos de precipitación CHIRPS

Se generaron capas raster de precipitación promedio anual para el período 2000-2024 dado que los datos correspondientes a 2025 aún no están disponibles. Estas capas fueron recortadas según la forma de la subcuenca, considerando un total de nueve estaciones equivalentes a los nueve píxeles del producto CHIRPS¹, cuya resolución espacial es de aproximadamente 0,25 km² (5 km × 5 km) por píxel. Posteriormente, se construyó una base de datos con los 25 datos raster recortados, a partir de los cuales se calculó el promedio anual de precipitación en la subcuenca, resultando en 948,70 mm/año.

El conjunto de datos CHIRPS integra observaciones satelitales y datos de estaciones terrestres, proporcionando series continuas desde 1981. Su resolución espacial, cercana a 5 km, es adecuada para zonas montañosas donde las redes pluviométricas son limitadas o discontinuas. En este estudio, CHIRPS se utilizó para reconstruir la serie anual de precipitación entre 2000 y 2025, permitiendo calcular la precipitación media (P_{med}) y evaluar la variabilidad interanual en la subcuenca.

- La precipitación promedio anual (P_{med}) de la serie 2000 - 2024 se calculó mediante:

$$P_{med} = \frac{\sum_{a=2000}^{2024} P(a)}{25}$$

Esta fórmula calcula la precipitación media anual de 25 años, que define la oferta hídrica “normal” de la subcuenca. De la serie 2000 - 2024, promedio de precipitación media anual en mm, se obtuvo un promedio total de:

$$P_{med} = 948,70 \text{ mm/año}$$

Esta cifra define la disponibilidad base de agua en la subcuenca, esencial para usos ambientales, agrícolas y poblacionales. Legalmente, la oferta hídrica media debe guiar la asignación

¹ CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations) es una plataforma desarrollada en 2014 por el Climate Hazards Group de la Universidad de California, Santa Bárbara. Combina datos satelitales y observaciones de estaciones terrestres para generar series de precipitación globales continuas desde 1981, con resolución espacial aproximada de 5 km, especialmente útil para zonas de difícil acceso y regiones montañosas donde las redes pluviométricas son escasas o discontinuas (Funk et al., 2015).

de derechos de agua para asegurar sostenibilidad.

Esta oferta hídrica representa la disponibilidad base del sistema, aunque la variabilidad interanual es elevada. Años húmedos como 2004, 2005 y 2010 contrastan con sequías como 2001, 2014 y 2019. Esta alternancia exacerba los riesgos de erosión y la pérdida de suelo fértil.

1. Variabilidad Temporal

La subcuenca del río Pueblo Llano presenta una marcada variabilidad interanual en la precipitación, con años caracterizados por sequías extremas y otros por lluvias intensas. Esta variabilidad tiene implicaciones directas sobre la disponibilidad de agua, la recarga de acuíferos y la gestión de riesgos hidrológicos. A continuación, se clasifican los años según su comportamiento extremo y su relevancia para la legislación hídrica.

Años secos extremos: 2001, 2014 y 2019. Estos periodos representaron un riesgo significativo de escasez hídrica y redujeron la recarga de acuíferos, lo que subraya la importancia de contar con protocolos de emergencia y planes de gestión hídrica de carácter legal.

Años húmedos extremos: 2004, 2005 y 2010. Durante estos años se observó un riesgo elevado de inundaciones y recarga excesiva, lo que debió requerir de una regulación legal de obras de control hidráulico y protección de acuíferos para prevenir impactos socioambientales.

Tendencia y variabilidad: La serie histórica no muestra una tendencia clara de incremento o disminución en precipitación; sin embargo, la alta variabilidad y la inestabilidad observada refuerzan la necesidad de contar con un marco legal flexible y adaptable a condiciones climáticas extremas.

2. Número de Curva (CN)

El método del Número de Curva (Curve Number, CN) fue desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS, 1972) y posteriormente actualizado por el Natural Resources Conservation Service (NRCS, 2004) de los Estados Unidos. Este procedimiento es ampliamente utilizado a nivel mundial para estimar la escorrentía directa a partir de la precipitación, considerando de manera integrada factores como el uso del suelo, las características del terreno, los grupos hidrológicos de suelo y las condiciones de humedad antecedente.

Diversos autores han evaluado la validez y aplicabilidad del CN en distintas condiciones. Mishra y Singh (2003), en su obra de referencia Soil Conservation Service Curve Number Method, destacan la utilidad del CN en cuencas agrícolas y de montaña, siempre que se disponga de información adecuada sobre la cobertura vegetal y el tipo de suelo. Por su parte, Ponce y Hawkins (1996) realizaron un análisis crítico del método, confirmando su efectividad para evaluar los efectos hidrológicos derivados de cambios en la cobertura y el uso del suelo. De manera complementaria, Soulis y Valiantzas (2012) y Steenhuis et al. (1995) demostraron que el CN responde de manera sensible a procesos de deforestación, expansión agrícola y compactación del suelo, lo que evidencia su relevancia como parámetro para evaluar la evolución hidrológica de zonas intervenidas, como la subcuenca del río Pueblo Llano.

Para estimar el potencial de escorrentía en la subcuenca, se aplicó la metodología del CN, validada en estudios hidrológicos de microcuencas andinas y semiáridas. Este parámetro sintetiza la capacidad de infiltración del terreno a partir de la combinación de cobertura vegetal, tipo de suelo y condiciones de humedad antecedente, con valores que oscilan entre 30, para suelos con alta capacidad de infiltración, y 100, para suelos prácticamente impermeables. En este estudio, cada categoría de cobertura identificada mediante imágenes Landsat (bosque denso, bosque semidenso, cultivos y vegetación páramo) fue asociada a un valor CN obtenido de literatura técnica sobre zonas tropicales y de montaña (Rengifo Montufar et al., 2020; Espinales Cedeño et al., 2021; Gaspari et

al., 2007; Segura- Pena et al., 2023; Romero, 2003)¹.

A partir de los valores de CN asociados a cada categoría de cobertura, se calculó el Número de Curva Efectivo (CN_{ef}), que representa el valor ponderado del CN para toda la subcuenca según la proporción real de cada uso del suelo. El CN_{ef} integra de manera simultánea las superficies de bosque denso, bosque semidenso, áreas cultivadas y zonas de vegetación de páramo, ofreciendo una medida sintética de la capacidad global de infiltración y escorrentía del territorio. En este estudio, los valores asignados fueron: bosque denso (50), bosque semidenso (60), cultivos (80) y vegetación páramo (85), lo que permite estimar de manera precisa el comportamiento hidrológico de la subcuenca bajo las condiciones actuales de cobertura y proporciona una base sólida para evaluar escenarios futuros de manejo del territorio y mitigación de riesgos de escorrentía y erosión.

Cálculo del CN_{ef}:

Valores asignados CN(i): Bosque denso 50, Bosque semidenso 60, Cultivos 80, Vegetación páramo 85².

$$CN_{ef} = \frac{\sum_i (\text{Área}_i \times CN_i)}{\sum_i \text{Área}_i}$$

Donde Área(i)= área de cada clase de cobertura (ha). CN(i)= valor de Número de Curva asignado a cada clase

CN(ef)= resume la capacidad promedio de la subcuenca para infiltrar agua.

1. CN_{ef} 2000 = 73,902

2. CN_{ef} 2025 = 75,915

Aumento indica menor infiltración y mayor escorrentía.

Interpolación lineal del CN_{ef} entre 2000 y 2025

$$CN_{ef(a)} = CN_{2000} + \frac{CN_{2025} - CN_{2000}}{25} \times (a - 2000)$$

Ejemplo CN_{ef} (2012):

$$CN_{ef(2012)} = 73.902 + \frac{75.915 - 73.902}{25} \times (2012 - 2000)$$

$$CN_{ef(2012)} = 74.868$$

Área total también se interpola linealmente.

$$A_{(a)} = A_{2000} + \frac{A_{2025} - A_{2000}}{25} \times (a - 2000)$$

$$A_{(2012)} = 7994,70 + \frac{7409,13 - 7994,70}{25} \times (2012 - 2000)$$

A (2012) = 7713,59 ha.

¹ Análisis propio que permite establecer la relación entre el uso del suelo, las propiedades físicas del terreno y la precipitación efectiva, como herramienta para evaluar escorrentía, erosión y disponibilidad de agua superficial. Estudios en microcuencas de Ecuador, Argentina y Colombia confirman que el CN es sensible a cambios en cobertura vegetal y prácticas agrícolas, lo que respalda su aplicación en la subcuenca de Pueblo Llano afectada por deforestación y expansión agrícola.

² "La asignación de valores de Número de Curva (CN) a las coberturas de la subcuenca se fundamenta en el método empírico SCS-CN desarrollado por el NRCS, que asigna CN según la combinación suelo-uso de tierra- condición de cobertura, reconociendo que bosques densos en suelos permeables presentan menor escorrentía (CN bajos), mientras que cultivos, pastizales o coberturas más ligeras incrementan la escorrentía (CN más altos). Debido a las diferencias de suelo, topografía, vegetación y condiciones locales en la subcuenca, se adoptaron valores intermedios/moderados (p. ej. bosque denso 50, bosque semidenso 60, cultivos 80, vegetación de páramo 85), como aproximación coherente con la lógica del método. Las tablas originales de CN para bosques, cultivos y otros usos provienen del NEH-630 / TR-55 del NRCS."

Con el fin de representar la evolución hidrológica de la subcuenca durante el período 2000-2025, se calcularon los valores del CNef para cada uno de los 24 años, siguiendo el mismo procedimiento aplicado en el ejemplo mostrado para el año 2012. De manera paralela, también se interpolaron las superficies de cada cobertura para todos los años intermedios, tal como se ilustró con el cálculo del área correspondiente a 2012. Este enfoque permite reconstruir una secuencia anual continua de cambios en el uso del suelo y su incidencia en la respuesta hidrológica.

Los resultados consolidados de este proceso, que permiten visualizar dicha dinámica y los patrones progresivos de degradación, se presentan en la Tabla 02 y en el Gráfico 01, donde se aprecia la tendencia de transformación espacial y su efecto sobre los parámetros hidrológicos fundamentales

Resultados Integrados

| Año | Pp (mm) | CNef | Área (ha) |
|------|---------|--------|-----------|
| 2000 | 914.58 | 73.902 | 7 994,70 |
| 2001 | 867.39 | 73.983 | 7 971,28 |
| 2002 | 891.92 | 74.064 | 7 947,85 |
| 2003 | 1083.73 | 74.145 | 7 924,43 |
| 2004 | 1132.13 | 74.226 | 7 901,00 |
| 2005 | 1127.59 | 74.307 | 7 877,57 |
| 2006 | 967.38 | 74.388 | 7 854,14 |
| 2007 | 962.54 | 74.469 | 7 830,72 |
| 2008 | 941.42 | 74.550 | 7 807,29 |
| 2009 | 840.15 | 74.631 | 7 783,87 |
| 2010 | 1251.61 | 74.712 | 7 760,44 |
| 2011 | 1144.92 | 74.793 | 7 737,01 |
| 2012 | 1089.49 | 74.868 | 7 713,63 |
| 2013 | 842.03 | 74.950 | 7 690,20 |
| 2014 | 768.77 | 75.031 | 7 666,78 |
| 2015 | 792.51 | 75.112 | 7 643,36 |
| 2016 | 875.34 | 75.193 | 7 619,93 |
| 2017 | 972.94 | 75.274 | 7 596,51 |
| 2018 | 860.20 | 75.355 | 7 573,08 |
| 2019 | 781.45 | 75.436 | 7 549,66 |
| 2020 | 837.37 | 75.517 | 7 526,23 |
| 2021 | 805.31 | 75.598 | 7 502,81 |
| 2022 | 1060.81 | 75.679 | 7 479,38 |
| 2023 | 961.26 | 75.760 | 7 455,96 |
| 2024 | 944.78 | 75.841 | 7 432,53 |

Tabla 02. Resultados integrados de los cálculos de CNef, precipitación para cada año 2000-2025 y cálculo del área de cobertura interpolada para cada año correspondiente. Fuente: Elaboración propia

Gráfico 01

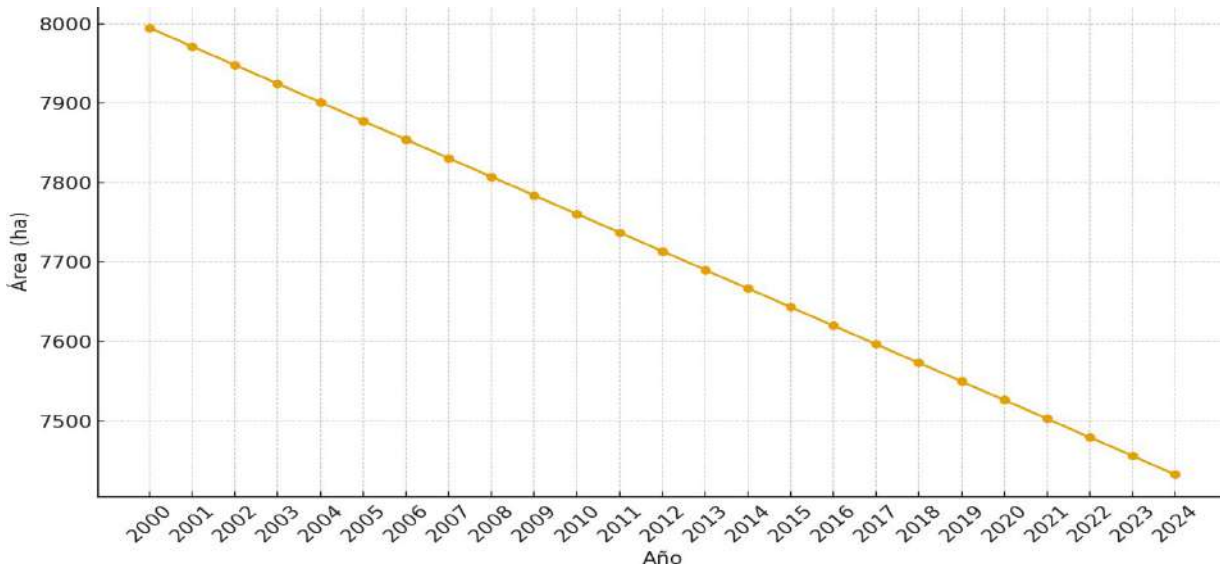


Tabla 02. Tendencia del área interpolada utilizada para el cálculo del CNef 2000-2024. Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento temporal de la cobertura vegetal muestra una tendencia descendente sostenida a lo largo del período analizado, como se observa en el gráfico correspondiente. Aunque las variaciones interanuales pueden parecer moderadas, la pérdida acumulada de superficie refleja un proceso de transformación territorial continuo, asociado al reemplazo de formaciones naturales por usos agroproductivos y antrópicos. Esta disminución progresiva de la cobertura vegetal no solo constituye un indicador ambiental de degradación, sino que también condiciona los parámetros hidrológicos fundamentales de la subcuenca, lo que permite establecer vínculos directos entre los cambios en el uso del suelo y la respuesta hidrológica del sistema.

La interpretación técnica de los indicadores hidrológicos de la subcuenca del río Pueblo Llano evidencia relaciones críticas entre el uso del suelo, la escorrentía y la gestión legal del recurso hídrico. El aumento del número de curva efectivo (CNef) indica una reducción en la capacidad de infiltración del suelo, lo que genera un incremento proporcional en la escorrentía superficial, elevando el riesgo de procesos erosivos y degradación de los suelos. La alta variabilidad interanual de la precipitación expone a la subcuenca tanto a sequías prolongadas como a eventos de lluvia intensa, generando riesgos combinados de escasez e inundaciones. En este contexto, la precipitación media anual (Pmed) constituye un parámetro de referencia fundamental para la planificación y concesión de derechos de uso de agua, mientras que los años con condiciones extremas requieren protocolos específicos y un control riguroso para garantizar la disponibilidad y seguridad del recurso.

El incremento del CNef entre 2000 y 2025, aunque numéricamente moderado, representa un cambio hidrológico significativo en una subcuenca de alta pendiente como Pueblo Llano. En ambientes montañosos, aumentos incluso pequeños en el CNef reducen de manera proporcional la infiltración efectiva y aumentan la escorrentía superficial, amplificando los procesos erosivos y la pérdida de suelo. Diversos estudios (Mishra y Singh, 2003; Soulis y Valiantzas, 2012) confirman que estas variaciones reflejan compactación del suelo, degradación de la cobertura vegetal y mayor susceptibilidad a avenidas torrenciales. Por ello, el incremento del CNef observado constituye un indicador temprano de deterioro hidrológico progresivo en la subcuenca y resalta la necesidad de implementar medidas de manejo del territorio y conservación del recurso hídrico.

6. Cálculo de pérdida de Bosque Natural

$$\Delta B = B_{2000} - B_{2025}$$

Donde B200 y B2025 son las superficies de bosque (denso + semidenso).

Ejemplo $\Delta B = 2783,24 - 2052,42 = 730,82$ ha.

7. Tasa Anual Pérdida de Bosque

1. Bosque natural restante en 2025: 2.052,42 ha
2. Pérdida 2000–2025: 730,82 ha → tasa promedio anual:

$$\text{Tasa Anual} = \frac{\Delta B}{25} = 29,23 \text{ ha/año}$$

8. Tiempo estimado para desaparecer el bosque restante

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{Bosque restante}}{\text{Tasa anual}} = \frac{2052,42 \text{ ha.}}{29,23 \text{ ha/años}} = 70 \text{ años}$$

- Desde 2025, eso nos lleva al año $2025 + 70 = 2095$.
 - Proyección de desaparición del bosque natural: Si la subcuenca mantiene la tasa de pérdida observada entre 2000 y 2025, la cobertura de bosque natural restante (2.052,42 ha en 2025) podría desaparecer en aproximadamente 70 años, es decir, hacia el año 2095.
 - Esto implica que, antes de que termine el siglo XXI, la subcuenca aún conservaría algo de bosque natural, pero la tendencia muestra una degradación progresiva y preocupante. Esta proyección lineal sirve como escenario de referencia para la planificación de medidas de conservación y restauración.

9. Relación entre CNef y la variabilidad de la precipitación

La interacción entre el aumento del CNef y la elevada variabilidad interanual de la precipitación observada en la subcuenca tiene implicaciones hidrológicas críticas. En años húmedos, un CNef más alto limita la capacidad del suelo para absorber el excedente de agua, incrementando la velocidad de escurrimiento y elevando el riesgo de erosión y eventos torrenciales. En contraste, en años secos, la reducción de infiltración disminuye la capacidad de almacenamiento y recarga, profundizando los efectos de la sequía. Esta doble vulnerabilidad (exceso en años lluviosos y déficit en años secos) es característica de cuencas degradadas y coincide con patrones descritos en estudios andinos (Bruijnzeel, 2004; Buytaert y De Bièvre, 2012). Incorporar esta lectura conjunta fortalece la comprensión integral del comportamiento hidrológico de Pueblo Llano.

10. Resultados e Interpretación Hidrológica General

Los resultados muestran un proceso de degradación activo, consistente con los patrones documentados por Bruijnzeel (2004) y García-Chevesich (2010) en sistemas de montaña intervenidos. El aumento del CNef implica una menor capacidad de infiltración, mayor escorrentía superficial y mayor susceptibilidad a avenidas torrenciales, lo cual ha sido ampliamente descrito en cuencas agrícolas de ladera (Beskow et al., 2013; Panagos et al., 2015).

Entre 2000 y 2025 se evidencia una disminución significativa de la vegetación de páramo, que pasa de 3.645,60 ha a 3.099,01 ha. Esta reducción, concentrada en zonas por encima de los 3.000 msnm, coincide con la expansión agrícola hacia áreas de alta montaña, especialmente en nacientes y laderas de fuerte pendiente. La pérdida de páramo implica una disminución de la regulación hídrica natural en la subcuenca, debido a la menor capacidad de retención de humedad, la reducción de la infiltración y el incremento de la escorrentía superficial. Este cambio se vincula directamente con el aumento del CNef y con la disminución progresiva de la reserva hídrica natural del territorio.

En conjunto, los resultados evidencian una degradación progresiva de la subcuenca, marcada principalmente por la reducción de la cobertura boscosa, transformación de áreas de vegetación de páramo y expansión territorial de la frontera agrícola. Este cambio en el uso del suelo se refleja en el aumento del CNef, indicador que señala condiciones más impermeables y una menor capacidad de infiltración, lo cual favorece el crecimiento de la escorrentía superficial. La pérdida de bosque no solo reduce la regulación natural del flujo hídrico, sino que también incrementa la probabilidad de avenidas torrenciales, especialmente en eventos de lluvia intensa. Adicionalmente, la alta variabilidad interanual de la precipitación refuerza la necesidad de implementar una gestión adaptativa del recurso hídrico, capaz de responder tanto a periodos de sequía como a episodios de precipitación extrema.

11. Análisis Jurídico

El deterioro hidrológico registrado en la subcuenca del río Pueblo Llano no puede considerarse un fenómeno aislado, sino la manifestación concreta de un incumplimiento estructural del marco legal venezolano. La pérdida de más de 730 hectáreas de bosque, el avance de la frontera agrícola sobre áreas de alta pendiente y el aumento sostenido del número de curva efectivo (CNef) evidencian una alteración profunda del balance hídrico y del funcionamiento ecológico del territorio, en clara contradicción con principios constitucionales y legales de carácter vinculante.

La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela de 1999, en sus artículos 127, 128, 129 y 304, reconoce que el ambiente sano es un derecho colectivo; que la ordenación del territorio debe fundarse en la aptitud ecológica del suelo; que toda actividad susceptible de degradar el ambiente requiere evaluación de impacto ambiental previa; y que las aguas son bienes del dominio público de la Nación. Ninguna de estas disposiciones es meramente programática: todas constituyen mandatos exigibles que gobiernan la gestión de un territorio de montaña cuya oferta hídrica depende de la conservación del bosque y la regulación natural del suelo.

Esta visión se complementa con Hernández Mendible (2021), quien plantea que “el agua ha sido considerada como un recurso natural, un bien económico, un bien ambiental, un bien social, un bien cultural, un servicio público y, recientemente, se ha gestado la propuesta de considerarla como un derecho humano”. Pág. 252. En Pueblo Llano, la alteración del ciclo hidrológico (mayor escorrentía superficial, disminución de la infiltración y reducción de la reserva hídrica natural) demuestra un uso del territorio condicionado por presiones productivas, desplazando el papel rector del Estado en la conservación del agua como bien público. La fragilidad del ecosistema andino y la importancia de sus bosques nublados para la regulación hídrica evidencian que la gestión de la cuenca no puede depender de prácticas agrícolas de corto plazo que ignoran la vocación natural del suelo.

La Ley Orgánica del Ambiente (2006), en sus artículos 3, 4, 5, 9, 18, 19, 57, 80 y 82, consagra principios de prevención, precaución, sostenibilidad, responsabilidad objetiva y protección integral de las cuencas hidrográficas, estableciendo obligaciones estatales inmediatas. La situación en Pueblo Llano confirma que estos principios no se aplican de manera efectiva. La deforestación de cabeceras, el uso intensivo de agroquímicos y la ocupación de laderas

con pendientes superiores al 40 % reflejan la incapacidad de la gestión ambiental para impedir presiones incompatibles con la estabilidad ecológica. La ausencia de controles, el seguimiento limitado y la inoperancia de los instrumentos de planificación previstos en la ley explican, en gran medida, el deterioro documentado y evidencian un incumplimiento sistemático de los deberes de prevención y gestión ambiental.

El incumplimiento se profundiza al considerar la Ley de Aguas (2007), cuyos artículos 4, 18, 19, 20 y 41 establecen que la conservación de las cuencas hidrográficas constituye una obligación directa del Estado y que la gestión integral del recurso debe garantizar tanto la protección de los ecosistemas como la satisfacción de necesidades humanas, ecológicas y productivas. El artículo 4 impone la obligación de prevenir y controlar los efectos negativos del agua sobre la población y sus bienes; el artículo 18 exige que la conservación de las cuencas se realice mediante programas, proyectos y acciones que consideren la interdependencia de los componentes bióticos, abióticos, sociales y económicos; el artículo 19 define las cuencas hidrogeológicas como unidades de manejo espacial; el artículo 20 establece principios de descentralización, participación ciudadana, corresponsabilidad y cooperación interinstitucional; y el artículo 41 fija como instrumentos obligatorios los planes de gestión integral, el control administrativo previo y el Registro Nacional de Usuarios de las fuentes de agua.

En Pueblo Llano, la inexistencia de un plan de gestión integral y la ausencia de acciones de conservación en zonas críticas constituyen un incumplimiento directo de estos mandatos legales. La evidencia técnica del aumento del CNeF, la reducción de la infiltración y la pérdida de bosque demuestra que no se han aplicado las medidas necesarias para mantener la infiltración ni regular la escorrentía, evidenciando la ausencia de los instrumentos y controles previstos. Hernández Mendible (2021, p. 254), citando a González-Antón Álvarez (2000), refuerza esta idea al señalar que “la cuenca hidrográfica es considerada unánimemente como el escenario idóneo para la gestión integrada del agua en un único sistema, ya que, ciertamente, es la unidad natural geográfica e hidrológica”.

La doctrina constitucional complementa este análisis. Brewer-Carías (2006) destaca que la Constitución de 1999 transformó estructuralmente el régimen jurídico del agua al disponer en su artículo 304 que todas las aguas son bienes del dominio público, implicando su afectación al uso público y sometiéndolas a un régimen de inalienabilidad, imprescriptibilidad e inembargabilidad. La situación de Pueblo Llano evidencia la ruptura entre este mandato constitucional y la práctica territorial, donde la gestión del agua responde a lógicas productivas fragmentadas de la integridad ecológica, en lugar de criterios de unidad del ciclo hidrológico y uso público.

El deterioro ambiental también se vincula con incumplimientos de la Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio (1983), especialmente en sus artículos 5, 10 al 17 y 59, que obligan a ordenar el territorio conforme a su vocación natural y a garantizar un uso racional del suelo. La aptitud ecológica del territorio en Pueblo Llano (caracterizado por fuertes pendientes, suelos de alta susceptibilidad y ecosistemas reguladores) exige usos estrictamente limitados y controlados, pero el avance de cultivos intensivos sobre áreas forestales y de montaña evidencia la debilidad o inexistencia de la ordenación territorial y de la presencia o accionar del Estado.

La Ley Orgánica de Planificación Pública y Popular establece principios de coherencia, integralidad y articulación interinstitucional que deben guiar la planificación en todos los niveles de gobierno, desde lo nacional hasta lo comunal (arts. 3, 6 y 8). Estos principios buscan garantizar que los recursos públicos se utilicen de manera estratégica, participativa y sustentable, promoviendo la coordinación entre planes sectoriales, estatales y municipales (arts. 19-21, 30-36). Sin embargo, la realidad observada evidencia una desconexión entre las prácticas agrícolas y la estabilidad ecológica del territorio, reflejando un incumplimiento de los principios y mecanismos de planificación previstos en la ley, especialmente en lo que respecta a la integración de criterios ambientales en los planes

municipales y comunales (arts. 36-43). Esta brecha normativa resalta la necesidad de fortalecer la articulación entre los distintos niveles del Sistema Nacional de Planificación y de garantizar que la participación del Poder Popular sea efectiva en la toma de decisiones relacionadas con la gestión ambiental.

La normativa sectorial sobre suelos, biodiversidad y recursos forestales ha sido vulnerada en la subcuenca. La Ley de Bosques (2013) establece principios claros para la conservación y manejo sostenible, incluyendo sostenibilidad y uso múltiple (Art. 3, num. 1 y 2), participación ciudadana y corresponsabilidad (Art. 3, num. 3 y 4), y precaución y prevención frente a daños graves o irreparables (Art. 3, num. 6). Además, el Art. 5 declara de orden público la conservación de especies y ecosistemas de especial valor ecológico, el fomento de bosques, la educación ambiental y la prevención de ilícitos contra el patrimonio forestal. La evidencia técnica (pérdida de cobertura forestal en cabeceras y laderas críticas, deforestación de bosques protectores y expansión de cultivos intensivos) demuestra que estos principios no se aplican efectivamente.

La Ley de Diversidad Biológica (2000) refuerza este marco, estableciendo que el patrimonio ambiental incluye ecosistemas, especies y recursos genéticos (Art. 3) y que su uso sustentable debe ser compatible con principios éticos y regulaciones de bioseguridad (Art. 5). La pérdida de cobertura forestal y la alteración de hábitats estratégicos, junto al uso intensivo de agroquímicos, evidencia que estas disposiciones no se cumplen, generando riesgos ecológicos y sociales significativos.

El uso indiscriminado de fertilizantes y gallinaza vulnera también la Ley de Abonos (1964), que obliga al Estado a garantizar la composición química y condiciones sanitarias de dichos insumos (arts. 1, 3 y 4), protegiendo la salud pública y evitando impactos negativos sobre suelos y cuerpos de agua. La persistencia de prácticas agrícolas intensivas sin control refleja deficiencias en la supervisión estatal y la gestión ambiental de insumos agropecuarios.

La Ley de Calidad de las Aguas y del Aire (arts. 1, 7 y 39) establece la protección de la salud de los seres vivos y de los ecosistemas mediante la gestión de la calidad del agua y del aire, regulando molestias ambientales y residuos. Los impactos derivados de prácticas agrícolas intensivas, la contaminación difusa de cuerpos de agua y la reducción de la infiltración evidencian el incumplimiento de estas obligaciones legales, afectando el derecho a un ambiente sano y equilibrado.

El incumplimiento se profundiza con la reiterada omisión del Decreto N° 1.257 sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente, que obliga a presentar Estudios de Impacto Ambiental o Evaluaciones Ambientales Específicas antes del inicio de proyectos con potencial de impacto, incluyendo la ocupación del territorio y afectación de recursos renovables. La expansión agrícola sin estos estudios constituye una vulneración directa de uno de los pilares de la política ambiental: la evaluación previa de impactos.

Finalmente, la Ley Penal del Ambiente (2012) tipifica como delitos la alteración no autorizada de la topografía, la destrucción de vegetación en zonas de montaña y cualquier actividad que afecte negativamente cuerpos de agua o zonas protectoras (arts. 38 y 39). La magnitud del deterioro en Pueblo Llano encaja plenamente en estos supuestos, incorporando responsabilidades penales concretas.

El marco legal asigna al municipio competencias en saneamiento ambiental, suministro de agua potable, tratamiento de aguas residuales y protección del ambiente urbano y periurbano (CRBV, Art. 178, num. 4 y 6). La Ley Orgánica de Salud (Art. 27) exige la coordinación del Ministerio de Salud con los organismos del Consejo Nacional de Salud para la prevención y control de vectores, gestión de desechos y vigilancia de la contaminación. La ausencia de estos controles no solo afecta al ambiente, sino que representa un riesgo directo para la salud de las comunidades locales.

En conjunto, el análisis jurídico evidencia que la degradación hidrológica de la subcuenca del río Pueblo Llano constituye una violación sistemática del orden constitucional y legal venezolano. Los indicadores técnicos recopilados (incremento del CNeF, reducción de la infiltración, pérdida de bosque, erosión acelerada y mayor variabilidad del recurso hídrico) funcionan como evidencia pericial de que las obligaciones estatales en materia de ambiente, agua y ordenación territorial no se han cumplido. La subcuenca, con su deterioro visible y cuantificado, expresa inequívocamente lo que el marco jurídico intenta evitar: la pérdida de un patrimonio natural fundamental para la integridad ecológica y la seguridad hídrica de las comunidades.

12. Reflexión crítica y recomendaciones desde un enfoque agroecológico- agroforestal, normativo e institucional

La subcuenca del río Pueblo Llano evidencia una pérdida significativa de bosque natural, lo que ha conllevado a una menor capacidad de infiltración del suelo y a un aumento de la escorrentía superficial. Este escenario se relaciona con un modelo predominante de agricultura intensiva (centrado en cultivos de papa, zanahoria y hortalizas de ciclo corto) que ha provocado degradación del suelo, deforestación y un uso masivo de agroquímicos. Ante esta realidad, las acciones sugeridas deben trascender una mera interpretación jurídica, adoptando una perspectiva integral: agroecológica-agroforestal, normativa, institucional y comunitaria, con miras a restaurar la funcionalidad ambiental e hidrológica de la cuenca.

Desde un enfoque conservacionista, resulta pertinente transitar hacia sistemas agroforestales y agroecológicos, sustituyendo el paradigma del monocultivo y los insumos químicos por modelos que reproduzcan la estructura del bosque, favoreciendo la biodiversidad, la fertilidad natural del suelo y la retención hídrica. Tal como señalan Altieri y Nicholls (2017), la agroecología aspira a sistemas productivos diversos que restauran la fertilidad del suelo y la biodiversidad, rompiendo los “círculos viciosos de degradación ambiental” asociados al monocultivo y al uso indiscriminado de agroquímicos en zonas altoandinas. En ese sentido, podría considerarse la implementación de cultivos en franjas o terrazas, con barreras vivas, combinados con rotación de cultivos: prácticas recomendadas para evitar la erosión y la compactación en suelos de montaña frágiles (FAO, 2015). Estas intervenciones permitirían reducir la presión erosiva, aumentar la infiltración y promover la recarga hídrica de la subcuenca. Además, toda planificación debe garantizar coherencia entre los fines y los medios institucionales disponibles, evitando que los objetivos ambientales queden como formulaciones abstractas carentes de soporte operativo.

Otra alternativa viable sería la implementación de barreras agroforestales, que permitan la siembra controlada de determinados cultivos, al tiempo que favorezcan la creación de corredores naturales destinados a la restauración del bosque. Estas barreras contribuirían a frenar la expansión de la agricultura hacia las zonas de mayor altitud, mitigando de manera significativa los procesos de degradación del suelo y del paisaje.

La restauración de la cobertura vegetal natural y la protección de las nacientes constituyen otro elemento de alta prioridad. La reforestación con especies nativas en áreas de alta pendiente y en zonas de nacientes contribuiría a funciones ecológicas esenciales: interceptación de neblina, liberación gradual de agua, regulación del flujo base y recarga paulatina de acuíferos, aspectos clave para garantizar caudales estables y resiliencia frente a variabilidad climática. Este enfoque ecológico no solo remedia los efectos de la deforestación, sino que restituye parte de la funcionalidad ecosistémica perdida. Esto subraya la importancia de formular objetivos definidos y verificables en los procesos de restauración ambiental.

Desde una perspectiva normativa e institucional, convendría considerar formalizar la subcuenca como área protegida (por ejemplo, mediante la figura de Reserva Hidráulica o Zona Protectora) con una delimitación precisa que abarque sus cabeceras, laderas y zonas de recarga.

Como argumentan Rojas López *et al.* (2014), un escenario pro-ambiental verdaderamente eficaz exige la conformación de un sistema integrado de áreas naturales protegidas, reforzado institucional y financieramente, no como un instrumento aislado de protección, sino articulado con estrategias de desarrollo y con respeto a los derechos, valores e intereses de las comunidades locales. Esta integración socioambiental permitiría que la protección no confronte el desarrollo, sino que promueva alternativas ecológicas, sociales y culturalmente adecuadas de gestión territorial. En coherencia con la visión de Rosales Gutiérrez (2025)¹, la planificación estatal debe construirse desde una consideración integral del territorio, orientada por criterios de sistematicidad y coherencia en el diseño de políticas públicas a través de los años.

En consecuencia, una primera acción prioritaria sería la elaboración de Términos de Referencia (TDR) mediante la participación coordinada de autoridades competentes, comunidad local y especialistas técnicos. Estos TDR constituyen un instrumento preliminar que orienta la elaboración del plan de ordenanza municipal, definiendo los lineamientos técnicos, legales y ambientales que guiarán su implementación. En ellos deberían establecerse claramente: los objetivos de conservación, los criterios técnicos para la restauración ecológica, las áreas de protección, las modalidades productivas permitidas (priorizando enfoques de agroecología o agroforestería), así como los mecanismos de monitoreo, control y ejecución de las medidas. La aprobación de la ordenanza por el órgano legislativo competente permitiría legitimar jurídicamente las acciones ambientales, garantizando su coherencia con un proceso de planificación racional, sistemático y verificable.

Adicionalmente, resultaría pertinente desarrollar un Plan de Gestión Integral de la Cuenca, concebido como instrumento vinculante y adaptativo, que articule restauración de cobertura vegetal, manejo sostenible del suelo, conservación de nacientes, control de escorrentía, y adopción de prácticas agroecológicas acorde a la topografía y ecología local. Un componente esencial de este plan sería un sistema de monitoreo ambiental continuo, que permita evaluar la calidad y cantidad de agua, la cobertura vegetal, el estado de suelos y biodiversidad, garantizando la vigilancia ciudadana y la corresponsabilidad ambiental. Este enfoque se alinea con la obligación constitucional del derecho a un ambiente sano y con la consideración de las aguas como bienes de dominio público, tal como establece la normativa venezolana.

Finalmente, la dimensión social y educativa aparece como indispensable para sustentar estos cambios. En este sentido, la experiencia descrita por Marín Lara Calderón (2014)², a través del uso de estrategias pedagógicas en el municipio Pueblo Llano, demuestra que la educación ambiental puede sensibilizar y movilizar a los jóvenes y a la comunidad hacia una gestión consciente del territorio. Esa sensibilización puede convertirse en un motor de cambio cultural, promoviendo una conciencia colectiva sobre la importancia de preservar los bienes comunes, y generando una ciudadanía capaz de participar activamente en procesos de restauración, vigilancia y gestión ambiental comunitaria.

En conjunto, estas recomendaciones, coordinadas desde lo agroecológico- agroforestal, lo institucional, lo normativo y lo educativo/comunitario, podrían favorecer no solo el restablecimiento de la vigencia normativa, sino también un desarrollo territorial sostenible, la conservación de biodiversidad y servicios *ecosistémicos*, y la mejora en la calidad de vida de la población de la

1 Aunque, Rosales Gutiérrez (2025) se refiere al plan económico, su razonamiento es plenamente extensible a la planificación ambiental, ya que el autor describe el carácter sistémico del plan estatal ("el Plan forma un todo: un sistema"), donde cada componente incide en el resto. Dado que lo económico integra variables ecológicas y territoriales, los principios de integralidad, coherencia interna y sistematicidad resultan igualmente aplicables al diseño de políticas ambientales y de ordenamiento de cuencas.

2 Marín Lara Calderón, A. (2014). Este estudio se desarrolló en el Municipio Pueblo Llano, estado Mérida, con estudiantes del 4to año de secundaria del Liceo Bolivariano Mariano Picón Salas durante el año escolar 2009-2010. La investigación buscó fomentar la sensibilización ambiental frente a impactos de actividades agrícolas mediante estrategias como diagnóstico, el estudiante investigador y el periódico ecológico, empleando la investigación-acción y los paradigmas de la complejidad y socio-crítico como marco metodológico.

subcuenca de ese río.

CONCLUSIÓN

El análisis integral de la subcuenca del río Pueblo Llano evidencia que esta área enfrenta un proceso sostenido de degradación hidrológica, estrechamente ligado a la interacción entre el uso del suelo, la dinámica de la escorrentía y la gestión del recurso hídrico. El aumento del número de curva de escorrentía efectivo (CNef) refleja un cambio significativo en un contexto montano, donde incluso variaciones pequeñas amplifican la escorrentía superficial, disminuyen la infiltración y potencian los procesos erosivos, aumentando la vulnerabilidad de la subcuenca ante avenidas torrenciales. En este escenario, la pérdida de vegetación de páramo (ecosistema regulador por excelencia en zonas de alta montaña) agrava la situación, pues disminuye la capacidad natural de retención de humedad, afecta la regulación del flujo base y compromete el funcionamiento de las áreas productoras de agua ubicadas por encima de los 3.000 msnm.

La alta variabilidad interanual de la precipitación agrava este escenario, al combinar episodios de sequía prolongada con eventos de lluvias extremas, generando riesgos duales: déficit hídrico en años secos y aumento de escorrentía y erosión en años húmedos. La interacción entre CNef y precipitación evidencia la doble vulnerabilidad de la subcuenca, reforzando la necesidad de una gestión hídrica adaptativa capaz de responder tanto a la escasez como a los excesos de agua, así como a la planificación de derechos de uso de acuerdo con la disponibilidad del recurso. En este contexto, la reducción del páramo implica una pérdida de la “esponja hídrica” natural que amortigua estas fluctuaciones, incrementando la exposición del sistema a la inestabilidad climática, fenómeno que se ve amplificado por las tendencias globales de cambio climático, incluyendo variaciones en patrones de precipitación y aumento de eventos extremos.

La pérdida de cobertura boscosa y la proyección de desaparición del bosque natural hacia finales de este siglo muestran que la degradación progresiva es una amenaza real para la estabilidad ecológica, la disponibilidad de agua y la resiliencia climática de la subcuenca. Esta situación se ve intensificada por la transformación acelerada de la vegetación de páramo para usos agrícolas, lo cual deteriora aún más la capacidad de regulación hidrológica y acelera la degradación de las zonas de nacimiento. Frente a este escenario, se requieren medidas urgentes de restauración ecológica, planificación territorial y adopción de prácticas agrícolas sostenibles que mitiguen los impactos de la deforestación y del uso intensivo del suelo en todos los pisos altitudinales, especialmente en la alta montaña.

Desde la perspectiva de la gestión institucional y legal, la evidencia técnica indica que las obligaciones establecidas por la normativa vigente, incluyendo la protección de cuencas, el manejo de aguas como bien público y la regulación de la ocupación de suelos de alta pendiente, no se han cumplido de manera efectiva. La ausencia de planificación integrada, control del uso del suelo y medidas de restauración ha contribuido directamente a la degradación ambiental observada. Este incumplimiento institucional se refleja tanto en la reducción del bosque como en la pérdida del páramo, dos elementos esenciales para garantizar la estabilidad hidrológica en ecosistemas montañosos. Esta situación no es única de Pueblo Llano, sino que a nivel regional y nacional la crisis institucional y la falta de acción efectiva del Estado han contribuido, durante los últimos 25 años, al incremento de problemas ambientales, incluyendo la deforestación, la degradación del suelo y la pérdida de cobertura de páramo y bosque.

La recuperación de la subcuenca requiere un enfoque integral que combine restauración de cobertura vegetal y nacientes, implementación de sistemas agroforestales y agroecológicos, planificación territorial acorde a la aptitud ecológica del suelo y monitoreo continuo de la calidad y cantidad de agua. Asimismo, la participación comunitaria y la educación ambiental son elementos esenciales para consolidar la corresponsabilidad y garantizar la sostenibilidad de las intervenciones a largo plazo. En este proceso, la elaboración de Términos de Referencia (TDR) se presenta como

un instrumento preliminar fundamental para orientar la planificación de la ordenanza municipal y definir los lineamientos técnicos, legales y ambientales que guiarán la recuperación de la subcuenca. La materialización de estos TDR en ordenanzas permite que la normativa jurídica sobre el agua se cumpla y se aplique plenamente, fortaleciendo la protección de las fuentes hídricas, la gestión integral de la cuenca y la sostenibilidad de los ecosistemas montanos. La protección y recuperación de la vegetación de páramo debe asumirse como prioridad estratégica, dado su papel determinante en la captación de humedad, la regulación del ciclo hidrológico y la estabilidad de las corrientes de agua.

En síntesis, la subcuenca del río Pueblo Llano enfrenta un escenario crítico de degradación hidrológica, ecológica y social, condicionado por un modelo agrícola intensivo, pérdida de bosques, degradación del páramo y carencias en la gestión institucional. La adopción de un enfoque integral que articule medidas agroecológicas y agroforestales, planificación territorial, educación ambiental, fortalecimiento institucional, aplicación efectiva de la legislación del agua y consideración de la variabilidad climática asociada al cambio climático global, así como la atención a la crisis institucional que afecta a nivel regional y nacional, constituye la estrategia central para asegurar la sostenibilidad hídrica, la conservación de la biodiversidad y la resiliencia de los ecosistemas montanos, garantizando la disponibilidad de agua y la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri, M. A., y Nicholls, C. I.** (2017) *Agroecology: A brief account of its origins and currents of thought in Latin America*. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41(3–4), 231–237.
- Beskow, S., Mello, C. R., Norton, L. D., & Curi, N.** (2013) *Soil erosion prediction in the Brazilian subtropics with RUSLE, KINEROS2 and WEPP models*. *An International Journal of Soil Science*, 2, 220–236.
- Hernandez-Mendible, V.** (2021) *El Régimen de las Aguas en Venezuela En "Red Internacional de Bienes Públicos. El Derecho de Aguas en Latinoamérica y Europa. Lecturas de Derechos de Aguas. Universidad Externado de Colombia. Coord. por Julián A. Pimiento Echeverrú y Gerardo García Álvarez"*. Bogotá, Colombia.
- Brewer-Carías, A.** (2006) *El Régimen de las Aguas en Venezuela. Efectos de su Declaratoria General y Constitucional como Bienes del Dominio Público En "Congreso Internacional de Derecho Administrativo, Instituto de Investigaciones Jurídicas, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 7 de junio de 2006."* México DF, México.
- Bruijnzeel, L. A.** (2004) *Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees?* *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(1), 185–228.
- Bruijnzeel, L. A., y Bonell, M.** (2011) *Forest hydrology: Processes, management and assessment*. CAB International.
- Buytaert, W., y De Bièvre, B.** (2012) *Water for cities: The impact of land use changes on water resources in the Andes*. *Water Resources Research*, 48(8), W08503.
- Buytaert, W., Iñiguez, V., y De Bièvre, B.** (2006) *The effects of land-use changes on the hydrological behavior of tropical Andean catchments*. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10, 925–938.

Corporación de Los Andes (Corpoandes) (2006) *Dossier Municipal 2006: Pueblo Llano*. Ministerio del Poder Popular para la Planificación y Desarrollo.

Espinales Cedeño, F. R., Alulema del Salto, R. A., y Caicedo Toro, M. D. (2021) *Determinación del Número de Curva (CN) de la cuenca del Río Portoviejo*. Dilemas contemporáneos: educación, política y valores, 8(spe2), 00017. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2600>

FAO (1994) *Land Degradation in South America: Regional Overview*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO (2015) *Status of the World's Soil Resources: Main Report*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., ...Michaelsen, J. (2015) *The climate hazards infrared precipitation with stations— a new environmental record for monitoring extremes*. Scientific Data, 2, 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>

García-Chevesich, P. A. (2010) *"Erosion and Sedimentation Manual."* U.S. Bureau of Reclamation.

Gaspari, F. J., Senisterra, G. E., y Marlats, R. M. (2007) *"Relación precipitación– escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo"*. Revista FCA UNCuyo, 39(1), 21–28.

Goldstein, I., Rojas López, J., Pulido, N., y Molina, Z. (2012) *"Sustentabilidad de los paisajes andinos de Venezuela: Emergencias territoriales prioritarias en la conservación del agua."* Universidad de Los Andes.

Guzmán, C. D., Alleweldt, F., Briones-Hidrogo, E., y Bateman, A. (2017) *"Impact of land-use changes on runoff generation in Andean Mountain catchments"*. Hydrological Processes, 31(4), 657–674.

Lal, R. (1998) *"Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality"*. Critical Reviews in Plant Sciences, 17(4), 319–464.

Lal, R. (2015) *"Restoring soil quality to mitigate soil degradation"*. Sustainability, 7(5), 5875–5895.

Llambí, L., y Arias, E. (1997) *"Impactos de las políticas de ajuste estructural en los productores paperos y hortícolas de los Andes venezolanos: el caso de Pueblo Llano, Estado Mérida"*. Agroalimentaria, No. 4, junio 1997. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC).

López-Moreno, J. I., et al. (2014) *"Impact of land use change on high mountain hydrology: A review"*. Science of the Total Environment, 493, 980–999.

Marín Lara Calderón, A. (2014) *"La educación ambiental en sociedades agrícolas: el caso de Pueblo Llano, Mérida"*. Educere, 18(59), 143–152.

Mishra, S. K., y Singh, V. P. (2003) *"Soil Conservation Service Curve Number (SCS- CN) Methodology"*. Springer.

Montgomery, D. R. (2007) *"Dirt: The Erosion of Civilizations"*. University of California Press.

Natural Resources Conservation Service (2004) “*National Engineering Handbook, Part 630: Hydrology*.” U.S. Department of Agriculture.

Oldeman, L. R., Hakkeling, R. T. A., y Sombroek, W. G. (1991) “*World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation (GLASOD)*”. UNEP/ISRIC.

Pacheco, C., Aguado, I., y Mollicone, D. (2011) “*Las causas de la deforestación en Venezuela: un estudio retrospectivo*”. *BioLlania*, 10, 281–292.

Panagos, P., et al. (2015) “*The new assessment of soil loss by water erosion in Europe*”. *Environmental Science & Policy*, 54, 438–447.

Ponce, V. M., y Hawkins, R. H. (1996) “*Runoff curve number: Has it reached maturity?*” *Journal of Hydrologic Engineering*, 1(1), 11–19.

Rengifo Montufar, H., Haro, R., Espinosa Marín, J., Bastidas, W., Ramírez Avila, J. J., y Osorio, J. (2020) “*Determinación del número de curva para microcuencas en regiones semiáridas del norte de Ecuador*”. Watersheds and Water Quality Research Lab, Mississippi State University.

Rojas López, J. J., Goldstein, I. R., y Pulido, N. (2014) “*Sustentabilidad de los paisajes andinos de Venezuela II: actores y factores movilizados de la deforestación*”. *Revista Geográfica Venezolana*, 55(2), 213–237.

Romero, L. (2003) “*Hacia una nueva racionalidad socioambiental en los Andes papeiros de Mérida*”. *Fermentum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología*, 13(36), 55–72.

Rosales Gutiérrez, J.-D. (2025) “*Planificación y desarrollo en Venezuela*”. *Ius Comitalis*, 8(15), 101–123. Universidad Autónoma del Estado de México. <https://iuscomitalis.uaemex.mx>

Segura-Pena, J. D., Segura-Pena, S., Penagos Barreto, H. S., García-Corredor, D. F., y Gomez-Castaneda, D. C. (2023) “*Determination of the hydrological parameter of the Curve Number (CN) for the Las Cañas Stream in the Siscunsi Páramo by means of GIS*”. *Great Britain Journal Press*, 23(2).

Smith, E. R., y Cano, D. M. (2022) “*Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad*”. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 53–64. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.328>

Soil Conservation Service. (1972) “*National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology*”. U.S. Department of Agriculture.

Soulis, K. X., y Valiantzas, J. D. (2012) “*SCS-CN parameter determination using rainfall–runoff data in heterogeneous watersheds—the two-CN system approach*”. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(3), 1001–1015.

Steenhuis, T. S., Dahlke, H. E., et al. (1995) “*Application of the SCS runoff equation in agricultural watersheds*”. *Journal of Hydrology*, 168(1–4), 65–83.

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (CRBV) (1999) Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 36.860, 30 de diciembre de 1999. <https://www.tsj.gob.ve/legislacion/constitucion-1999>

Decreto N° 1.257 sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente (s.f.). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela.

Ley de Abonos (1964) Gaceta Oficial de la República de Venezuela, N° 30.605, 21 de marzo de 1964.

Ley de Aguas (2007) Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 38.595, 2 de enero de 2007.

Ley de Bosques y Aprovechamiento Forestal (2013). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 40.361, 14 de enero de 2013.

Ley de Diversidad Biológica (2000) Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 5.974 Extraordinario, 16 de octubre de 2000.

Ley de Calidad de las Aguas y del Aire (s.f.). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela.

Ley Orgánica del Ambiente (2006) Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 5.920 Extraordinario, 10 de enero de 2006.

Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio (1983) Gaceta Oficial de la República de Venezuela, N° 34.536, 24 de octubre de 1983.

Ley Orgánica de Planificación Pública y Popular (2001) Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 37.032, 11 de julio de 2001.

Ley Orgánica de Salud (2002) Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 5.973 Extraordinario, 25 de octubre de 2002.

Ley Penal del Ambiente (2012) Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 39.864, 21 de diciembre de 2012.