



Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y Organización de Estudios Tropicales
(natalia.gamboa.alpizar@undp.org)

MOCUPP en la gestión del recurso hídrico

Natalia Gamboa Alpizar



La variada topografía de Costa Rica ha dado origen a 34 cuencas hidrográficas. Además, la posición geográfica del país proporciona un clima tropical con patrones de alta precipitación (Ministerio de Ambiente y Energía e Instituto Meteorológico Nacional, 2021). Esto ha generado una percepción errónea sobre la alta disponibilidad de agua, fomentando una planificación y desarrollo ineficientes en su uso.

Los efectos de un desarrollo no planificado generan malestar social y afectan negativamente la economía y la eficiencia de diversos sectores productivos, retrasando la resiliencia y adaptación al cambio climático de las actividades en el territorio. Además, los factores sociopolíticos a menudo influyen en la toma de decisiones basadas en la ciencia y la técnica. Un claro ejemplo es la falta de una figura de gobernanza de cuencas, ya que las estructuras político-administrativas del territorio, representadas por los gobiernos locales, no favorecen el trabajo coordinado entre municipalidades para abordar problemas territoriales dentro de las cuencas.

Por ejemplo, los cantones de la parte alta de Heredia deben proteger las zonas de recarga acuífera no solo para su población, sino también para los cantones de la cuenca media y baja, lo cual se visualiza como una reducción en la capacidad de recaudar recursos económicos debido a la baja construcción y densidad poblacional. Por otro lado, los cantones de la cuenca baja deben invertir grandes sumas de su presupuesto en gestionar los efectos de las inundaciones causadas por la escorrentía de las zonas altas y la impermeabilización del suelo.

La Ley de Aguas N°276, aprobada en 1942, amplió las aguas de dominio público para incluir las aguas subterráneas y superficiales (Astorga Espeleta, 2013). Sin embargo, la vigencia de esta ley ha sido ampliamente discutida debido a los cambios demográficos, económicos, sociales y ambientales experimentados en las últimas décadas. Desde 2001, se han realizado varios intentos de modificarla, pero estos esfuerzos han sido rechazados por diversos sectores de la sociedad (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, 2008).

A pesar de contar con instrumentos legales para la gestión del recurso hídrico, Costa Rica carece de un cuerpo normativo sistemático y coherente que regule globalmente la protección, extracción, uso, gestión y administración eficiente de los recursos hídricos. Además, la normativa actual se centra en aguas superficiales, dejando vacíos en la regulación de las aguas subterráneas (Ministerio de

Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, 2008).

Los gobiernos locales tienen la responsabilidad y la potestad de velar por la protección de los recursos hídricos. El Código Municipal (Ley No. 7794, 1998) establece que las Municipalidades deben desarrollar una política integral de planeamiento urbano, que busque el desarrollo eficiente y armónico de los centros urbanos, garantizando servicios eficientes de electrificación, comunicación, agua potable y saneamiento.

Los gobiernos locales también deben recibir denuncias sobre acciones que incumplan los planes reguladores, reglamentos municipales y normas técnicas, tales como:

- Incumplimiento de los planes reguladores o violación de áreas de amortiguamiento y nacientes.
- Incumplimiento de reglamentos o normas técnicas para servicios públicos como agua potable y saneamiento.
- Incumplimiento de requisitos ambientales en la construcción, determinando la suspensión temporal o definitiva de actividades.
- Incumplimiento de requisitos ambientales para permisos de funcionamiento.

En este contexto, la planificación territorial es fundamental para resolver la crisis del recurso hídrico, proceso que requiere de un equipo multidisciplinario

para analizar los diversos elementos del territorio y aplicar herramientas que faciliten el conocimiento y la toma de decisiones técnicas.

El **MOCUPP Urbano** es una herramienta que permite comprender la interacción de los usos del suelo, para una adecuada gestión y protección de los recursos dentro de los territorios. Este sistema, mediante el análisis y procesamiento de imágenes satelitales, ofrece una alta precisión de la conformación del territorio estudiado.

El primer análisis se realizó para 20 cantones del Gran Área Metropolitana (GAM) (**Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos, 2024**) y les permitirá conocer el porcentaje de obra construida, zonas de pastos, áreas de protección de ríos y pulmones verdes en su cantón. Además, podrán implementar acciones para la despavimentación, el arbolado urbano, la protección de zonas de recarga acuífera, mejorando la conectividad biológica, la recuperación de las cuencas y la calidad de vida con ciudades más verdes.

La información obtenida a través del MOCUPP Urbano puede ser utilizada en la planificación territorial para establecer zonas de protección, medidas pertinentes, desarrollar actividades o proyectos según la capacidad de carga y características hidrológicas e hidrogeológicas de cada área dentro de la cuenca, promoviendo el desarrollo sostenible que garantiza la cantidad y calidad del recurso hídrico y la continuidad de los ecosistemas.

Un ejemplo de regulación es la figura de la zona especial protección de agua (ZEPA), como el caso del Plan Regulador de la Municipalidad de Barva. Este plan tiene como propósito *contener el desarrollo urbano no compatible con la vocación del suelo, establecer restricciones para garantizar la protección del recurso hídrico y los afloramientos de agua, estimular la reforestación y el desarrollo de actividades de bajo impacto compatibles con la fragilidad del terreno, entre ellas el ecoturismo, la protección y la investigación* (**Municipalidad de Barva, 2023**). Las ZEPA establecen limitaciones en áreas constructivas y en los tamaños de segregaciones de terrenos, con el fin de evitar influencias negativas en el aprovechamiento e infiltración del agua de la zona norte del cantón.

Para mostrar el uso de esta herramienta en la gestión del recurso hídrico, se presentarán tres iniciativas de monitoreo y calidad del agua en cuerpos superficiales y nacientes. Los resultados de estas iniciativas se analizaron junto con los datos del MOCUPP Urbano. Los análisis indican que las actividades humanas y la forma en que se desarrolla el territorio afectan la calidad y disponibilidad del recurso hídrico.

El primer caso se basa en los resultados del muestreo de aguas superficiales realizado por el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA) en el marco de *Ríos Límpios. Estrategia Nacional para la Recuperación de Cuencas Urbanas 2020-2030* (**MINAE, 2020**) en los ríos María Aguilar y Torres. Esta estrategia busca recuperar los ríos urbanos.

A lo largo de cuatro años, se realizaron análisis fisicoquímicos mediante Índice Holandés de Valoración de la Calidad para los cuerpos de agua superficiales, que incluye el porcentaje de saturación de Oxígeno, la Demanda Bioquímica de Oxígeno y el Nitrógeno Amoniacal. También se llevaron a cabo análisis biológicos utilizando

el índice Biological Monitory Work Party (BMWP) y se midió la concentración de coliformes fecales (Decreto No. 33903-MI-NAE-S, 2007). Los análisis indicaron que la calidad del agua varía según la época y la ubicación respecto a la microcuenca.

Las tres metodologías utilizan una escala de valores de cinco colores, donde el color azul

representa agua sin contaminación, el color verde agua con contaminación incipiente, el color amarillo agua con contaminación moderada, el color anaranjado agua con contaminación severa y el color rojo agua con contaminación muy severa. De acuerdo con resultados ponderados de los análisis para los dos cuerpos de agua, ambos ríos muestran altos niveles de contaminación fecal (presencia de coliformes) y la calidad de agua deficiente en los puntos de muestreo ubicados abajo de las nacientes (zona alta en caso del río Torres) (Figuras 1 y 2).

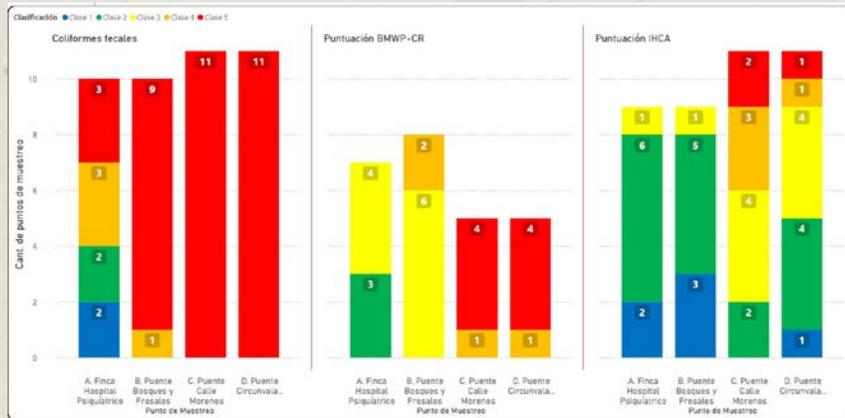


Figura 1. Coliformes totales, Puntuación BMWP-CR e índice holandés para el río Ma Aguilar. Fuente: Reportes de resultados del LNA de 2020 a 2024, procesados en Power BI por Karina Shum Estrada, colaboradora del proyecto TEVU.

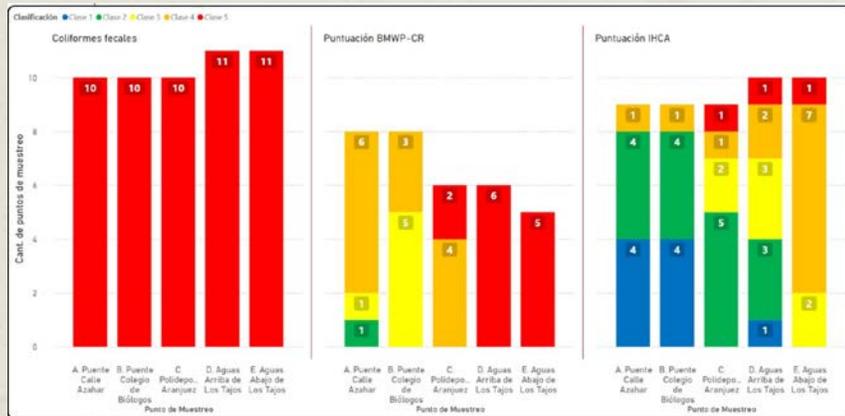


Figura 2. Coliformes totales, Puntuación BMWP-CR e índice holandés para el río Torres. Fuente: Reportes de resultados del LNA de 2020 a 2024, procesados en Power BI por Karina Shum Estrada, colaboradora del proyecto TEVU.

El análisis del territorio, a través del MOCUPP Urbano, muestra que la contaminación aumenta en los puntos muestreados a medida que se expande la mancha urbana de la ciudad y también en las áreas con mayor presencia de construcciones en la zona de protección del río (**Figura 3**). Entre las razones destacan las descargas de aguas residuales a los ríos y las intervenciones para entubarlos o encausarlos en ciertas secciones, lo que afecta la dinámica natural del río y su entorno.

El siguiente caso es la relación entre los resultados de calidad de agua del río Toyogres y los usos de suelo de su microcuenca, categorizados en el MOCUPP Urbano para los cantones de Oreamuno y Cartago. Esta investigación fue realizada por la estudiante de Ingeniería Ambiental, Rebeca Camacho Jiménez, con el apoyo técnico e insumos, por ejemplo,

información geoespacial para el análisis del uso de suelo, del proyecto TEVU para la socialización de la información y la presentación a escala local a instituciones y gobiernos locales de la microcuenca.

El primer objetivo fue el muestreo de la calidad de agua en nueve puntos de la microcuenca durante cuatro periodos en el año 2023. Se utilizó el índice de calidad de aguas superficiales en Costa Rica desarrollado por Calvo Brenes (2019). Este índice integra veinte parámetros físicoquímicos en contraste con los tres que se utilizan para el índice holandés, sin embargo, mantiene la escala de colores.

En la **Figura 4** se muestran seis de los nueve puntos, que presentan los resultados del índice por el código de color y su ubicación en el mapa, junto con la categorización del suelo según su uso. El punto 1 se ubica en el margen derecho superior y continúan en orden creciente de 1

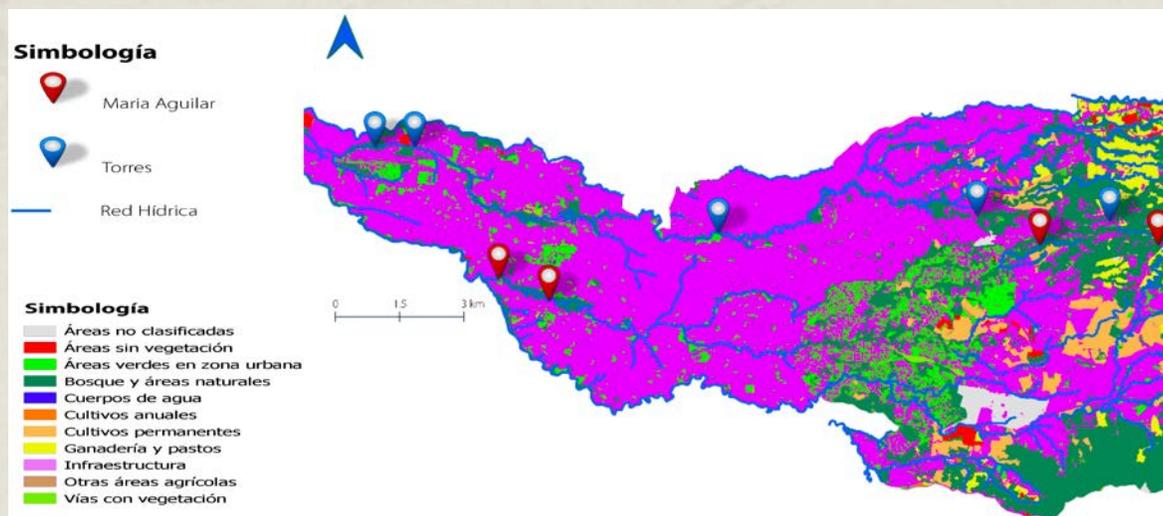


Figura 3. Análisis de usos de suelo con MOCUPP Urbano de los puntos de muestreo de los ríos María Aguilar y Torres. Fuente: Marlon Alfaro Cordero.

a 6. Los puntos con mayor contaminación presentan más infraestructura (puntos 1, 5 y 6) y actividades agrícolas (punto 2). El punto 3 muestra menor contaminación debido a que la zona de protección del río se mantiene protegida; de igual manera, el punto 4 presenta contaminación incipiente. Este comportamiento permite inferir que el cuerpo de agua tiene capacidad depuradora en este tramo del río.

El tercer caso donde el MOCUPP Urbano permite visualizar el uso de la tierra en la zona norte de la provincia Cartago y compararlo con los resultados del análisis del equipo de estudiantes de la Universidad de Delf y el apoyo del Instituto Tecnológico de Costa Rica sobre la presencia de altas concentraciones de nitratos en las fuentes de agua potable. En este análisis se muestra la alta presencia

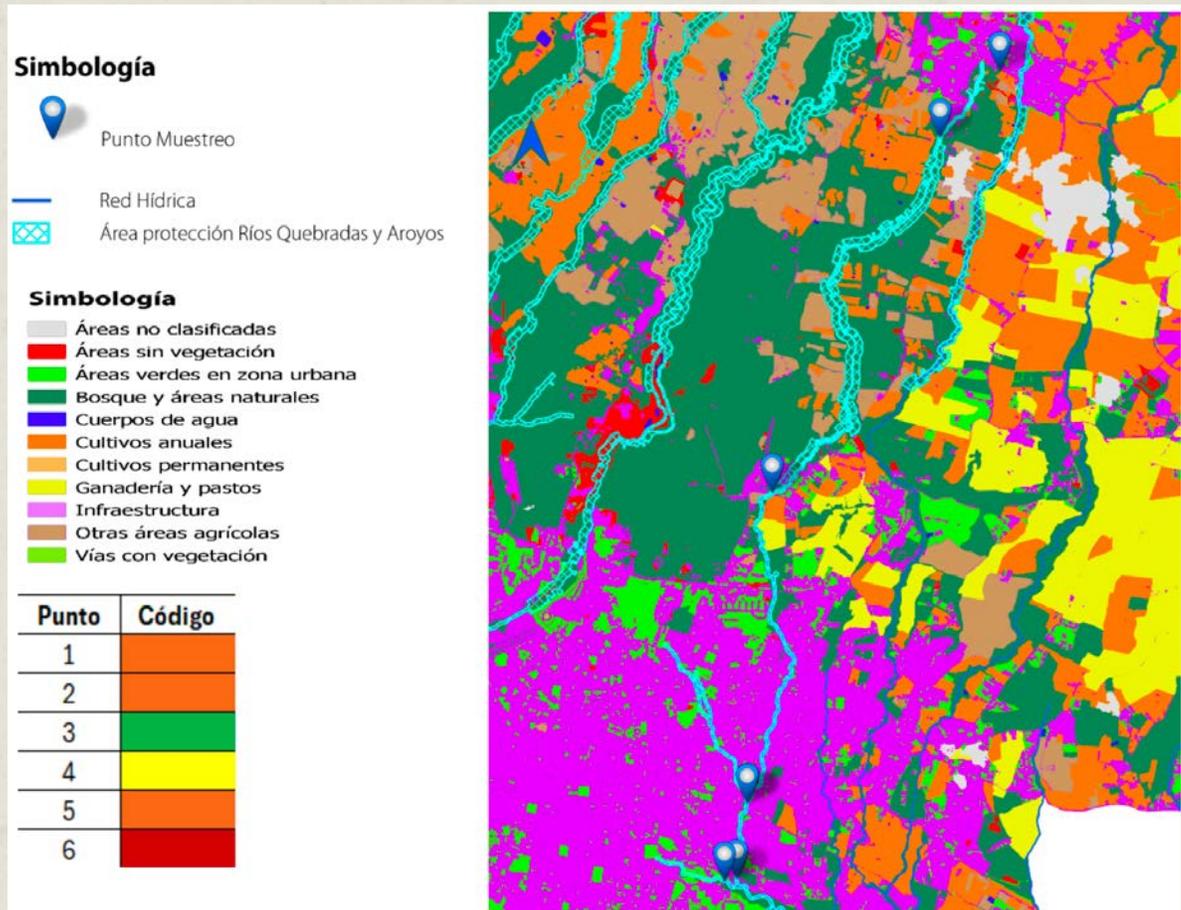


Figura 4. Microcuenca del Río Toyogres. Fuente: Rebeca Camacho Jiménez. Mapa: Marlon Alfaro Cordero.

de actividades agrícolas cerca de las fuentes de agua potable y el irrespeto a las áreas de protección (Figura 5).

En esta investigación se reunió información de diversas instituciones como el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), ASADAS, SENARA, Dirección de Aguas. La información recopilada corresponde a análisis de calidad de agua, estudios hidrogeológicos de la zona y capas oficiales. Además, se realizaron análisis que relacionan diversas variables que demuestran la necesidad de implementar áreas de protección

en las nacientes. Información adicional en Bravenhoer *et al.* (2023).

Si bien los tres ejemplos podrían constituir un artículo en sí mismo, en este espacio se presenta el análisis que permite la categorización más precisa realizada en el MOCUPP Urbano. Este detalle facilita conocer la distribución de las actividades humanas en el territorio y permitiría la planificación organizada y programática para mejorar la protección del recurso hídrico y el aprovechamiento del territorio desde una perspectiva verde y azul.

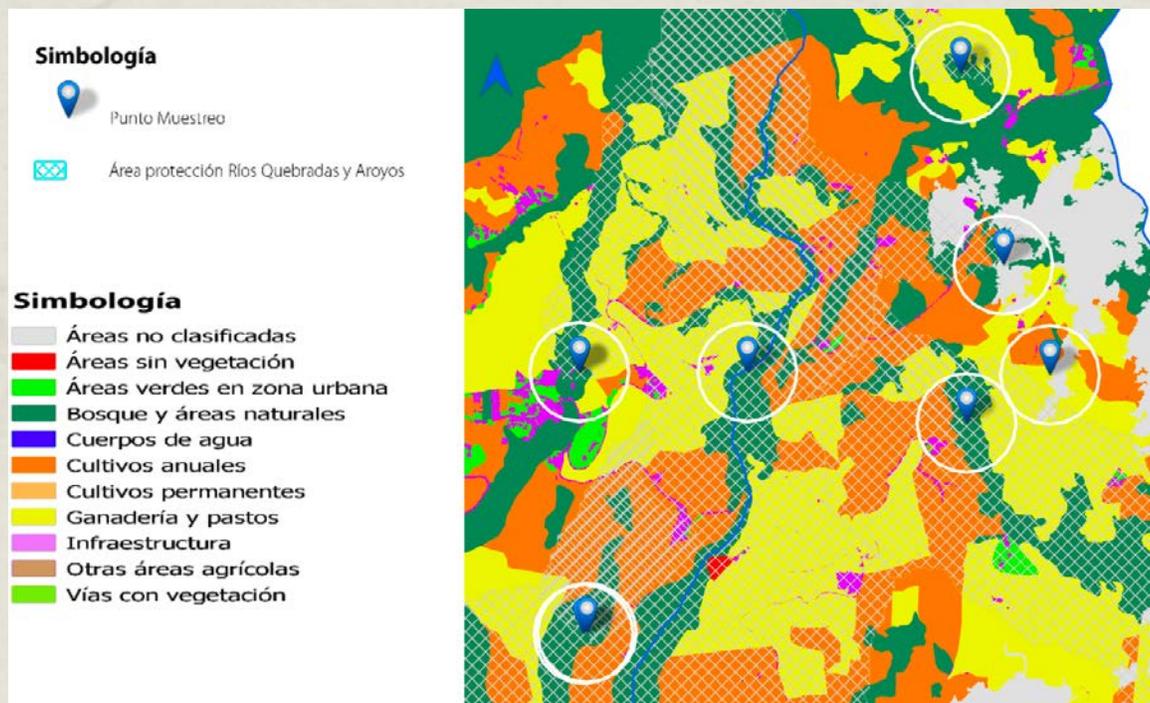


Figura 5. Sección de nacientes con altas concentraciones de nitratos en zona norte de Cartago.

Fuente: Bravenhoer et al., 2023. Mapa: Marlon Alfaro Cordero.

Referencias

- Astorga Espeleta, Y. (2013). Gestión del recurso hídrico en Costa Rica. *Ambientico*, (270), 17-24. <https://www.ambientico.una.ac.cr/revista-ambientico/gestion-del-recurso-hidrico-en-costarica/#:~:text=Limitaciones%20en%20la%20accesibilidad%20al%20agua%20potable%20como%20causa%20de>
- Bravenhoer, B., Bulte, S., Helmich, M., Knoop, J., Neijenhuis, O., & Wolf, M. (2023). Nitrate Pollution in the Northern Cartago Region. *TU Delft Research Repository*. <https://repository.tudelft.nl/record/uuid:d79fab47-f203-4de2-ae6-047c92f67afd>
- Calvo-Brenes, G. (2019). Nuevo índice para valorar la calidad de aguas superficiales en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 32(4), 104-115. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i4.4796>
- Decreto No. 33903-MINAE-S. (2007). [Ministerio de Ambiente y Energía, Ministerio de Salud]. *Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales*. Diario Oficial La Gaceta, n.º 178, 17 de setiembre de 2007. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?nValor1=1&nValor2=61013&nValor3=69088#:~:text=Reglamento%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20y%20Clasificaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20de
- Ley No. 7794. (1998). Código Municipal. 18 de mayo de 1998. Diario Oficial La Gaceta No. 94. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=40197&nValor3=0&strTipM=TC
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2020). Ríos Límpios. Estrategia Nacional para la Recuperación de Cuencas Urbanas 2020-2030. Ministerio de Ambiente y Energía. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/cr/undp_cr_Estrategia-Nacional-Rios-Limpios_2020.pdf
- Ministerio de Ambiente y Energía; Instituto Meteorológico Nacional. (2021). IMN. Obtenido de Programa de Cambio Climático: Estudio de las cuencas hidrográficas de Costa Rica: <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/EstudioCuencas/EstudioCuencasHidrograficasCR.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones. (2008). El Plan Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (PNGIRH). MINAET - BID.
- Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos. (19 de junio de 2024). Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos. Obtenido de Mocupp Urbano 2022: <https://geoexplora-mivah.opendata.arcgis.com/maps/MIVAH::mocupp-urbano-2022/about>
- Municipalidad de Barva. (07 de diciembre de 2023). Plan Regulador. Obtenido de Reglamentos de Desarrollo Urbano: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=100945&nValor3=138709&strTipM=TC