

**INCIDENCIA DE LAS DINÁMICAS ECONÓMICAS SOBRE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DEL
MUNICIPIO DE LA CEJA, ANTIOQUIA: SIG Y ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS
ESPACIALES.**

YUBER STIVEN OSORIO OTÁLVARO

Trabajo de grado como requisito para optar por el título de
Profesional en Desarrollo Territorial

Asesor:

JUAN CAMILO RENGIFO LÓPEZ



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

1 8 0 3

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
DESARROLLO TERRITORIAL
EL CARMEN DE VIBORAL

2020

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Localización de la Zona de Estudio.	14
Figura 2. Mapa de Localización de la Zona de Estudio. Base Natural.	15
Figura 3 . Usos de Suelo. Municipio de La Ceja.	22
Figura 4. Tratamientos Urbanos. Municipio de La Ceja.	23
Figura 5. Drenajes, usos de Suelo y áreas de producción de Flores. Municipio de La Ceja.	24
Figura 6. Densidad de la red de acueducto del municipio de La Ceja.....	28
Figura 7. Densidad de Kernel. Puntos de Información.....	29
Figura 8. Densidad de Kernel. Puntos de Información y peso espacial.	30
Figura 9. Kriging. Patrón de presión hídrica y peso espacial.	31
Figura 10. Inverse Distance Weighting. Patrón de presión hídrica y peso espacial.	32
Figura 11. Gráfico Exploratorio de Presión Hídrica.....	33

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Participación sobre el empleo respecto a renglón de actividad económica.	20
Tabla 2. Resumen de datos sobre el Municipio de La Ceja.	21

LISTA DE SIGLAS

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

PBOT: Plan Básico de Ordenamiento Territorial

PMAA: Plan de Manejo de Agua y Alcantarillado

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

VIS: Vivienda de Interés Social

VIP: Vivienda de Interés Prioritario

POMCA Plan de Ordenación y Manejo de La Cuenca Hidrográfica

AEDE: Analisis Exploratorio de Datos Espaciales

IDW: Inverse Distance Weighting

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
MARCO TEÓRICO	9
DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	13
METODOLOGÍA	16
RESULTADOS	25
CONCLUSIONES	34
BIBLIOGRAFÍA.....	35

INCIDENCIA DE LAS DINÁMICAS ECONÓMICAS SOBRE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DEL MUNICIPIO DE LA CEJA, ANTIOQUIA: SIG Y ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS ESPACIALES.¹

Yuber Stiven Osorio Otálvaro²

RESUMEN.

Las nuevas dinámicas económicas que están teniendo lugar en los distintos municipios del país, en parte por las presiones globalizadoras que imprime el sistema capitalista en los territorios de menor escala, están llegando a un punto de no retorno en cuanto a la sostenibilidad urbana entre los recursos naturales y la vida económica se trata. En ese orden de ideas, un punto de partida son los objetivos de desarrollo sostenible alrededor de esta temática. El caso de estudio de la investigación corresponde con el municipio de La Ceja del Tambo, Antioquia, sobre el cual, al espacializar puntos georreferenciados del consumo de metros cúbicos de agua de distintos renglones económicos suministrados por su más reciente ajuste al Plan Básico de Ordenamiento Territorial, Plan de Manejo de Agua y Alcantarillado y, recolección primaria, hicieron posible desarrollar un Análisis Exploratorio de Datos Espaciales con técnicas de estadística espacial. Los resultados se espacializaron en formato vectorial y raster y sugieren por un lado una correspondencia espacial entre patrones de presión hídrica y dinámicas económicas y, por el otro, la tendencia a una mayor presión hídrica en la parte Norte del municipio donde se está concentrando el futuro desarrollo urbano influenciado por el perímetro de expansión.

Palabras Clave: Disponibilidad y presión hídrica, Dinámicas Económicas, Sostenibilidad Urbana, Objetivos de Desarrollo Sostenible, Análisis Exploratorio de Datos Espaciales.

¹ Trabajo de Grado como requisito para optar por el Título de Profesional en Desarrollo Territorial. Asesor: Juan Camilo Rengifo López. Email: juanc.rengifo@udea.edu.co

² Estudiante del Pregrado en Desarrollo Territorial de la Universidad de Antioquia – Seccional Oriente. Email: yuber.osorio@udea.edu.co

INTRODUCCIÓN.

Toda intervención antrópica tiene repercusiones en el entorno ambiental por insignificante que sea. En ese orden de ideas, conocer y comprender qué implicaciones socio-ambientales tienen las actividades económicas sobre la disponibilidad hídrica de un territorio, orienta discusión alrededor de la sostenibilidad urbana en cuanto a la prevención e implementación de políticas públicas dirigidas a brindar un aprovechamiento racional del agua. Se parte de la relación que existe entre las actividades económicas y el medio ambiente, ya que por un lado se proporcionan los ingresos de la población y, por el otro, se preservan y conservan los nacimientos de agua.

Llevar a cabo un análisis sobre la afectación ambiental de los recursos naturales por actividades económicas permite sentar un precedente sobre las posibles oportunidades y conflictos que inciden sobre la sostenibilidad urbana de los territorios. Además, con base en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS en adelante) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), particularmente los objetivos 6 y 11, los cuales hacen referencia a garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, y lograr que las ciudades y asentamientos sean humanos, inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles respectivamente, motivan a llevar a cabo esta investigación.

En particular, el interés de esta investigación está en determinar si los objetivos específicos de los ODS 6 y 11, que a continuación se presentan, pueden ser consolidados en el municipio de La Ceja desde una óptica exploratoria:

Del objetivo 6:

- De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.
- De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.
- De aquí a 2030, implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.

Del objetivo 11:

- De aquí a 2030, asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales.
- De aquí a 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países.

Este estudio abarca el espacio geográfico del área urbana y parte del área rural del municipio de la Ceja del Tambo, Antioquia, con base en la clasificación de los usos y tratamientos urbanos y rurales establecidos en la última revisión de su Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) establecida en el Acuerdo 001 de 2018 del Concejo Municipal (2018). Además, teniendo en cuenta que el municipio se encuentra en la subregión oriente del departamento de Antioquia, diferentes ventajas comparativas como la cercanía con el principal centro de consumo establecido en El Valle de Aburrá, la accesibilidad al aeropuerto internacional José María Córdoba y su rol regional interdependiente con los demás municipios del Valle de San Nicolás, orientan la hoja de ruta para diagnosticar y establecer una óptima sostenibilidad urbana en esta subregión.

Del mismo modo, realizar investigaciones en este campo permite también formular políticas públicas acordes a las necesidades de los territorios donde se superen obstáculos de planeación, se reduzcan incertidumbres e incoherencias y, además, aumente la capacidad de reacción de los entes territoriales ante los diferentes hechos que se presentan. Finalmente, este trabajo de grado nace desde el pregrado en Desarrollo Territorial, donde se abordan temas relacionados con las complejidades de los territorios y los retos que sobre estos recaen, las dinámicas de la globalización y la interdisciplinariedad son líneas base para la lectura territorial de un espacio geográfico. Es así como se incentiva un rol activo sobre la sostenibilidad urbana ya que se estudian procesos multidimensionales e intertemporales relacionados con el espacio en que se vive, y donde la equidad, la competitividad y la sostenibilidad se sustentan en principios éticos, culturales, socioeconómicos, ecológicos, institucionales y políticos dado por un proceso de crecimiento poblacional del Valle de San Nicolás.

La investigación consta de la formulación del planteamiento del problema; posteriormente se detallan las preguntas y objetivos que delimita el estudio, así como el marco teórico en torno al concepto de sostenibilidad urbana y presión hídrica. A continuación, se describe la zona de estudio, se detalla la metodología de uso mixto, se presentan los resultados y, finalmente, las respectivas conclusiones del trabajo realizado con las referencias bibliográficas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, la disponibilidad del agua es un tema primordial para el ordenamiento territorial, y es a su vez, motivo de preocupación para los gobiernos en las diferentes entidades territoriales (país, departamento, municipio) debido a la presión que sobre este servicio ecosistémico se ejerce con el fin de abastecer actividades económicas y de uso doméstico.

En el caso del municipio de La Ceja del Tambo, ubicado en la subregión oriente del departamento de Antioquia, se encuentran renglones de actividad económica como el sector floricultor, de la construcción y comercio que generan incidencia sobre la disponibilidad hídrica, puesto que son los que han tenido un mayor crecimiento sostenido en los últimos años y que necesitan del recurso hídrico para poder desarrollar su actividad comercial. Además, dichos renglones de la economía local adquieren una gran relevancia puesto que son fuentes generadoras de empleo, impuestos y plusvalía que dinamizan el territorio y que, también, siguen en expansión comprometiendo la disponibilidad hídrica futura.

En cifras, de acuerdo con Rincón Zapata et al. (2019), el 18.2% de la población se emplea en el sector floricultor seguido del sector de servicios y comercio con 25.9% y 18.9% respectivamente; además, es importante anotar que este es un municipio que ha tendido a la especialización en esta rama de actividad económica, con un gran número de cultivos grandes, medianos y pequeños, que en su mayoría producen hortensias. Esta flor es representativa del territorio y ocupa el primer puesto como cultivo permanente en términos de producción al representar el 58.54% equivalente a 5.397 toneladas anuales en promedio y la primera flor en hectáreas cultivadas con 447 del total que asciende a casi 600 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018; Gaviria, 2014). En cuanto al sector de la construcción, este emplea el 5% de la población, sin embargo, el número de proyectos inmobiliarios distribuidos entre planes parciales, vivienda de interés social (VIS) y vivienda de interés prioritario (VIP) y de mayor rango socioeconómico alcanza los 26 en un periodo de nueve años, razón por la cual el municipio ha aumentado significativamente sus unidades de vivienda en área construida, lo que no significa que la totalidad de la vivienda sea usada por habitantes del municipio sino de población proveniente de otros municipios, en su gran mayoría del Valle de Aburrá.

De otro lado, con base en información oficial de las Empresas Públicas de La Ceja E.S.P, propiedad del municipio, el casco urbano recibe agua de las quebradas Santafé y La Pereira por medio de la planta convencional Fátima que abastece el 70% y, el restante 30%, se abastece de las plantas La Milagrosa y Palosanto de las quebradas Payuco 1, 2 y 3 y La Palosanto del mismo nombre. En este

punto se evidencian tres aspectos: en primer lugar, la categoría de quebrada de las cuales se abastece el municipio al no ser drenajes con categoría de río con un caudal mayor. En segunda lugar, la planta La Milagrosa fue entregada en 2011 para abastecer el sur de la cabecera urbana por el crecimiento urbanístico de entonces, lo cual hizo que se presionara la cuenca hídrica de la Quebradas Payuco 1, 2 y 3. Finalmente, en épocas actuales cuando hay niveles de sequía largos, el municipio debe tomar agua adicional para abastecer la demanda y por medio de una concesión que tiene de parte del Río Pantanillo, perteneciente al municipio de El Retiro, mediante la modalidad de bombeo, desvía el agua para que sea la planta de Fátima la que potabilice el preciado líquido y así pueda ser distribuida.

En una escala regional, todo este sistema hídrico hace parte de la cuenca del Río Negro que, de acuerdo con su Plan de Ordenación y Manejo de La Cuenca Hidrográfica (POMCA), abarca 8.621,50 hectáreas del municipio de La Ceja incluyendo su casco urbano y alrededores. Al reportar la síntesis ambiental de la cuenca, se realiza una lista de problemáticas de la cuenca de manera jerarquizada con el fin de priorizar problemáticas para pensar soluciones a las mismas. Para realizar dicha lista se tienen en cuenta diferentes parámetros (Urgencia, alcance, gravedad, tendencia o evolución, impactos sobre otros problemas, oportunidad y disponibilidad de recursos; siendo en total 7 criterios) respaldados por una numeración (0, 1 o 2) dependiendo del estado de la problemática, donde 2 representa un estado donde la problemática se debe priorizar y 0 figura como una situación en la que por el momento no hay que darle la mayor importancia. A partir de estas variables y su importancia medida en 0, 1 y 2, el diagnóstico de la cuenca arrojó una calificación de 2 puntos en todos los 7 criterios para un total de 14 puntos (la puntuación más alta posible). Evidentemente la problemática es la alta demanda de agua para abastecer diferentes tipos de consumo (doméstico, industrial, agrícola, pecuario, etc.) (Cornare, 2017).

Munevar (2015) afirma que *“en promedio, más del 70 % de los recursos mundiales de agua, incluidas las extracciones de cuerpos superficiales y subterráneos, son utilizados para riego; un 20 %, para la industria, y un 10 % se destina a uso doméstico.”* (p.284). En ese orden de ideas, se afirma que la disponibilidad hídrica a nivel local debe ser objeto de estudio dada la relevancia que tiene para la sostenibilidad urbana y el desarrollo económico y humano del municipio y de la región. Adicionalmente, la zona de embalses de la subregión oriente cada vez adquiere una mayor presión para abastecer un territorio más amplio, razón por la cual también se ve afectada la distribución del agua para el Valle de Aburrá dado que *“mediante trasvase de los embalses de la Fe y Piedras Blancas, se abastece cerca del 30% del acueducto de los diez municipios del Área Metropolitana”* (Cornare, 2017).

Pregunta de Investigación

- ¿Cuáles han sido las dinámicas económicas del municipio de La Ceja y su incidencia sobre la sostenibilidad urbana entre las actividades económicas y la oferta ecosistémica del agua?

Preguntas Específicas

- ¿Cómo es la distribución espacial del recurso hídrico en el casco urbano y parte rural del municipio de acuerdo con su Plan Básico de Ordenamiento Territorial?
- ¿Cuál es la importancia de la gestión hídrica para la sostenibilidad urbana del municipio de La Ceja?

Objetivo General

- Comprender, con base en el concepto de sostenibilidad urbana, la relación entre las dinámicas económicas y la disponibilidad hídrica del municipio de la Ceja, Antioquia.

Objetivos Específicos

- Caracterizar las dinámicas económicas alrededor de los principales renglones de actividad económica de La Ceja y su importancia para la sostenibilidad urbana y el desarrollo territorial.
- Medir y analizar la presión por la disponibilidad hídrica del área urbana del municipio de La Ceja, Antioquia bajo un esquema exploratorio.

MARCO TEÓRICO

El siguiente Marco Teórico se desarrolla de la siguiente forma. En primer lugar, se presenta la literatura que evidencia los conflictos alrededor de la disponibilidad del agua en el contexto nacional e internacional. Luego, se reporta la literatura que ahonda en el concepto de la sostenibilidad ambiental urbana, concepto que aplica esta investigación.

De acuerdo con Rodríguez (2012), la falta de legitimidad que tienen los gobiernos sobre la gobernabilidad del recurso hídrico y su persistencia en el tiempo en Colombia, da muestra de cómo la población colombiana desconoce la presión que se ejerce sobre el agua ya que no es consciente de lo escaso que resulta ser el recurso en ciertas zonas geográficas del país. Los procesos globales son los que han buscado y delegado quién o quiénes son los actores que brinden estrategias que vayan en pro de la protección del agua y, el país, es quien ha tomado esa caracterización para aplicar en su territorio. Domínguez et al. (2008) en un ejercicio cuantitativo hallan la capacidad hídrica que tiene

Colombia a través del Índice de Escasez Hídrica y lo proyectan para el año 2025. Si bien la posición tropical en el planeta hace que el país posea atributos propios para la generación de un volumen de agua alto, por diferentes factores asociados al cambio climático ese volumen se verá afectado por este fenómeno a 2025. Además, evidencian los conflictos generados por procesos productivos que se ubican en contextos donde la oferta de agua es baja y la densidad poblacional es alta, por lo cual la búsqueda de herramientas que permitan una adecuada gestión de los recursos hídricos es indispensable para evitar una crisis y posibles problemáticas.

En ese orden de ideas, Munevar (2015) brinda un acercamiento sobre la disposición hídrica a nivel mundial y, en Colombia, a la vez que describe cómo se distribuye lo que, en sí, permite reconocer la falsa imagen de abundancia y la latente desigualdad en temas de distribución desde la perspectiva geográfica y poblacional sobre el agua potable debido a la débil gobernabilidad del recurso hídrico. Además, se desarrolla una connotación más económica del agua razón por la cual, según el autor, al recurso se le puede atribuir un valor económico obedeciendo a particularidades del mismo. Paralelamente, el estudio alude otros valores que difieren al económico como el valor ecológico y la sustentabilidad. De igual modo Zarate (2006) aporta la magnitud del gasto del agua en las actividades humanas y los diferentes conflictos que han surgido entre poblaciones en torno al recurso a lo largo de la historia.

Por su parte, Castro (2017) evidencia las características del conflicto entorno al agua en México en los años 80 y 90s. Allí se documentan desde las demandas pacíficas dirigidas a las autoridades con el propósito de tener acceso a agua potable, hasta las acciones violentas que involucran la destrucción de infraestructura para el suministro de agua entre fuerzas de seguridad y la población mexicana. El estudio halla evidencia que, por parte del Estado Mexicano, la problemática del agua se ha desarrollado en forma lenta y fragmentada y aún no se comprende completamente el carácter multidimensional alrededor de este recurso natural. De otro lado, el trabajo de Martín (2013) habla del bien público del agua que recae sobre el dominio del Estado el cual decide la destinación de la misma. Del mismo modo, se habla de formas de utilización del recurso hídrico: el común y el especial donde la primera representa el uso que le da al agua el hombre para desarrollarse plenamente y el segundo es un uso más dirigido a un rédito económico, siendo este último muchas veces más prioritario sobre el uso común lo cual genera conflictos de uso y una pugna por el recurso desde un ámbito más jurídico. Ahora bien, tradicionalmente se ha reconocido una dependencia de la ciudad frente al espacio circundante el cual es netamente comercial; sin embargo, con el crecimiento exponencial de las urbes,

se cambió el concepto de interdependencia a dependencia, especialmente en temas ambientales y alimentarios. La sostenibilidad ambiental aparece como una alternativa y un complemento ante el conjunto de abordajes actuales para afrontar y resolver las problemáticas ambientales urbanas. El concepto de sostenibilidad parte de una perspectiva integradora y refuerza un enfoque sistémico que opera con un conjunto de relaciones entre sistemas (naturales y socioeconómicos), dinámica de procesos (energía, materia e información) y escalas de valores (ideas, ética). Por tanto, en esta investigación se adopta una visión según la cual los problemas ambientales de las ciudades están ligados a otros tres: eficiencia económica, desarrollo social y sostenibilidad ambiental. Y que esta última, a su vez, depende en parte, de los bienes y servicios que generan los ecosistemas que se sitúan en las zonas rurales específicas de los territorios.

Hablar de sostenibilidad remite necesariamente al concepto de desarrollo sostenible enunciado por Brundtland (1987), según el cual se trata del desarrollo que permita *“la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”*. Sin embargo, esta definición dada hace ya tres décadas, sigue dejando dudas, especialmente en temas como *¿cuáles son las necesidades de la generación presente?*, *¿debe primar la satisfacción de los pobres o de los ricos?* o *¿cómo serán las necesidades a futuro?*, todo esto, teniendo en cuenta que la definición de necesidades hoy en día varía entre regiones, culturas y niveles socioeconómicos, es decir, el modo en que se satisfacen estas necesidades de la sociedad está restringido a lo moral expresado en el tipo de consumo, y a lo ecológico ya que se reconoce que hay límites a la oferta y a la capacidad de carga de los sistemas naturales que soportan el bienestar de la población al suministrar los bienes y servicios que satisfacen sus necesidades (MEA, 2005).

En este contexto, queda la idea de que el principal objetivo del desarrollo es la satisfacción de las necesidades y aspiraciones humanas, con lo cual se reduce la perspectiva sobre la conservación y restauración de los ecosistemas y, en general, de las áreas de interés, en función de los intereses de la sociedad quien es, en última instancia, la que determina si un recurso, un bien ambiental o un espacio geográfico debe considerarse estratégico o no (Agudelo, 2007). En otras palabras, el concepto de desarrollo sostenible así descrito relega la importancia de conservar los diversos ecosistemas y ambientes naturales a una perspectiva netamente antropocéntrica y utilitarista, por lo menos desde la perspectiva de las necesidades actuales de la sociedad. En otras palabras, que la conservación no es un imperativo absoluto, sino que está subordinada al bienestar humano.

Otro elemento que se desprende de la definición de desarrollo sostenible, y que ha dado origen a diversas discusiones académicas, es el reconocimiento que, a escala global, la especie humana ha venido superando los límites que la naturaleza impone, consumiendo y contaminando más de lo que el sistema natural es capaz de soportar, desde una perspectiva ecológica (Sanchez-rodriguez, 2005). No obstante, desde la visión económica del desarrollo, se ha planteado que los límites no dependen del medio ambiente sino del desarrollo de las tecnologías para poder suplir los bienes y servicios que ya no son posibles obtener de los medios naturales. La discusión pasa entonces, en términos económicos, al grado de sustituibilidad del capital natural y el capital manufacturado, punto en el que reside la diferencia primordial entre la economía neoclásica y la economía ambiental, cuyas posiciones se reflejan en los dos extremos de las definiciones de sostenibilidad: la débil y la fuerte (Carpintero & Romano, 2000). Las posibilidades varían entre la perfecta sustituibilidad de las dos principales formas de capital consideradas; o la perfecta complementariedad entre ellas.

Por otro lado, cabe preguntarse, si la ciudad es el hábitat propio del ser humano, ¿puede considerarse un ecosistema natural? Y la respuesta, hasta ahora, es no. De hecho, en los ecosistemas naturales los flujos de energía se dan principalmente de modo vertical a partir de la producción primaria neta, esto es, la conversión de energía solar en materia a través del proceso de fotosíntesis; a partir de lo cual se generan flujos de materia en los cuales predominan los ciclos y el reciclaje de nutrientes y de recursos vitales, como el agua (Margalef, 1995; Odum, 1997). Por su parte, con las tecnologías actuales, el ser humano no ha logrado convertir la energía en materia, solo el proceso contrario - materia en energía-. Por tanto, la sociedad depende de los insumos básicos para desarrollar sus procesos y soportar su funcionamiento (agua, energía, alimentos y materiales), generando productos, pero también desechos hacia la región (descargas de aguas residuales, residuos sólidos y residuos peligrosos, contaminación del aire) (Daly, 1997; Hoornweg & Bhada-Tata, 2012). En todo caso, el metabolismo urbano como se viene dando es insostenible en el tiempo y en el espacio, evidenciando las más agudas contradicciones entre medio ambiente y desarrollo, entre sostenibilidad y deterioro irreversible, ya que es en la cúspide del crecimiento económico donde se aprecian los límites de este, si se acepta que se ha llegado a tal límite; o en donde se manifestarán, si se mantiene el ritmo actual de consumo del capital natural.

La sostenibilidad ambiental urbana aparece, entonces, como una alternativa que parte de una perspectiva integradora y refuerza un enfoque sistémico que opera con un conjunto de relaciones entre sistemas (naturales y socioeconómicos), dinámica de procesos (energía, materia e información)

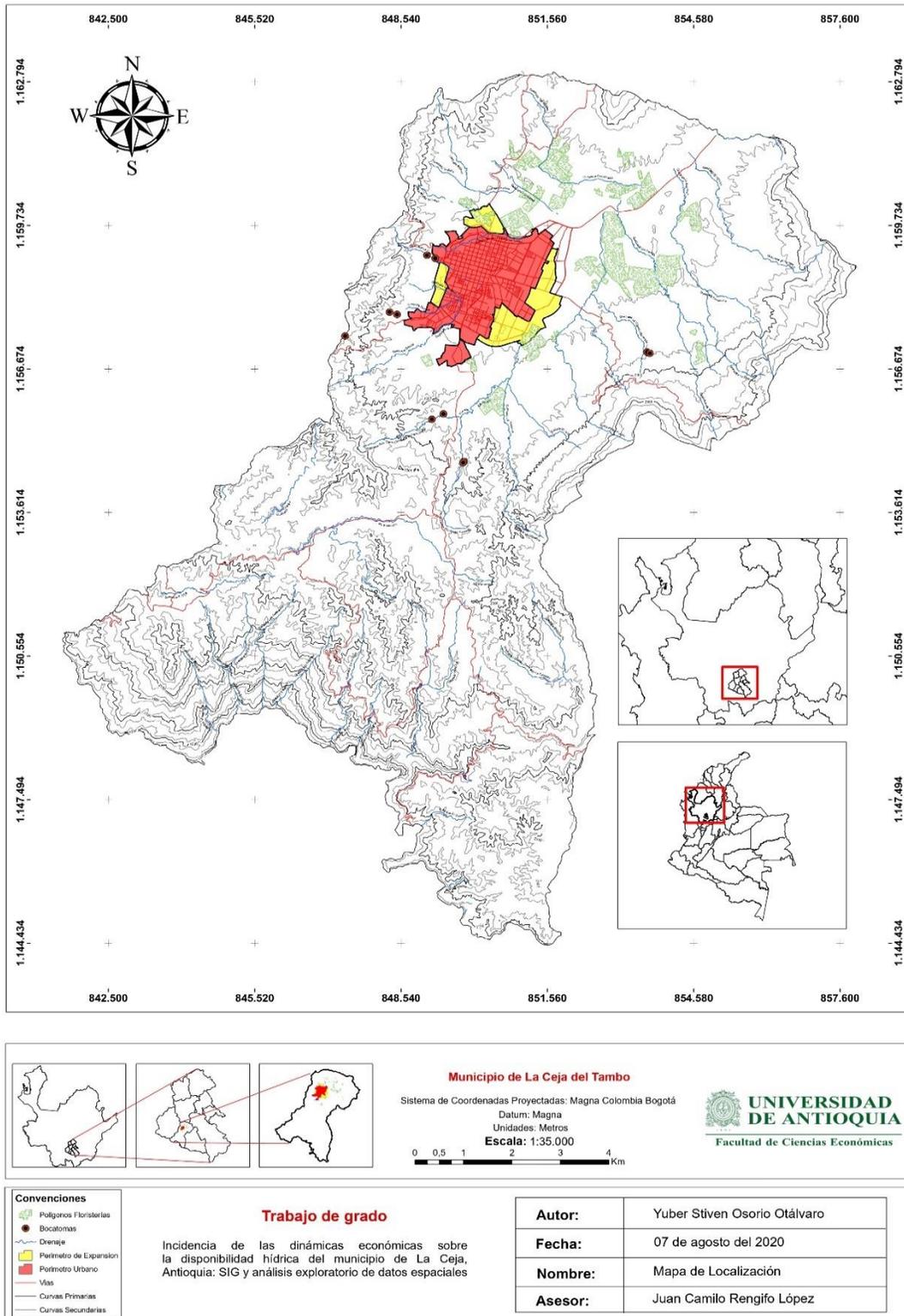
y escalas de valores (ideas, ética) (Jiménez, 2002); visión que engloba la naturaleza de esta investigación, en la cual se entiende que los problemas ambientales de las ciudades están ligados a otros tres: eficiencia económica, desarrollo social y sostenibilidad ambiental. Y que esta última, a su vez, depende, en parte, de los bienes y servicios que generan los ecosistemas que se sitúan en las zonas rurales de los territorios.

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El municipio de La Ceja se encuentra ubicado sobre la Cordillera Central en la subregión del oriente antioqueño, más precisamente en la zona conocida como el Altiplano Oriente donde hace parte de un grupo de 9 municipios. Está a 44km de Medellín la capital del departamento de Antioquia y según el Concejo Municipal, (2018b) *“El municipio se encuentra determinado por las coordenadas planas X:842.000 a X:858.500; y Y: 1.140.460 a Y: 1.1160.300”*. La cabecera municipal se ubica en las coordenadas geográficas 6°01'54" de Latitud Norte y 75°25'47" de Longitud al Oeste de Greenwich" (p35). De aquí que limite al norte con el municipio de El Carmen de Viboral y Rionegro; al oriente con el municipio de La Unión, al occidente con los municipios de Montebello y El Retiro y al sur con el municipio de Abejorral. El municipio se ubica a una altura de 2.180m sobre el nivel del mar donde su temperatura promedio es de 16° C. La Ceja cuenta con una extensión neta de 134 km² donde 4,2 km² (3.1%) son área urbana y 129,8 Km² (96.9%) corresponden a la zona rural. El municipio tiene una población de 68.325 según el Censo de Población y Vivienda (2018) de los cuales 59.630 pertenecen a la zona urbana. Las **figuras 1 y 2** presentan los mapas de localización de la Zona de estudio, así como su base natural.

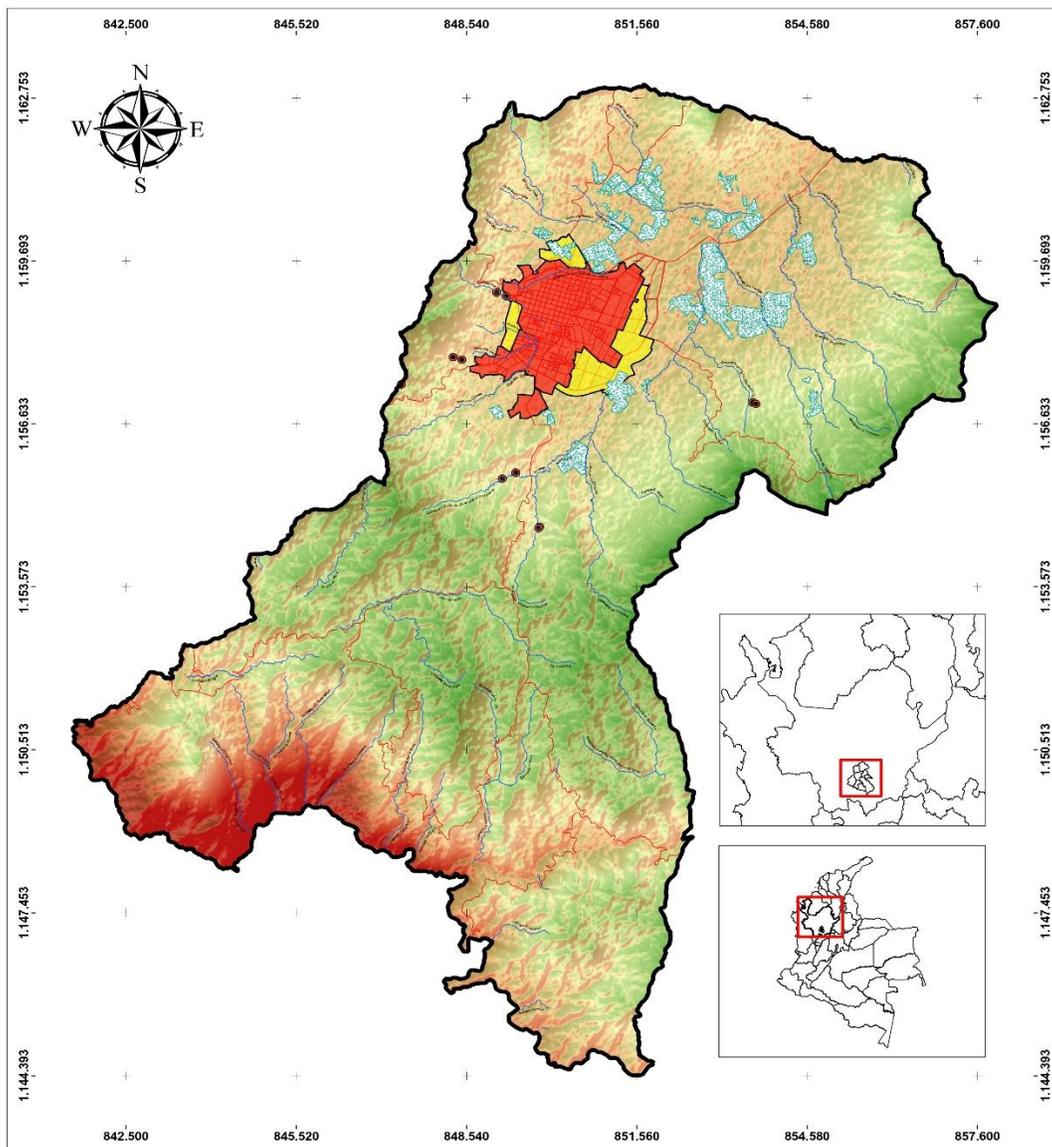
Es necesario recalcar que el municipio de La Ceja tiene dos zonas con especificidades territoriales muy marcadas por las características tanto ambientales como socioculturales. La zona norte y la zona sur: el norte del municipio se encuentra en la zona del Valle de La Ceja la cual hace parte de la cuenca alta del río Negro-Nare. Por otra parte, el sur hace parte del sistema de ríos Arma-Cauca donde predominan los ríos del Buey-Nare como parte de dicho sistema y determina que la zona sea montañosa que la zona norte, en la cual se encuentra la zona urbana del municipio. (Concejo Municipal, 2018b).

Figura 1. Mapa de Localización de la Zona de Estudio.



Fuente: Elaboración propia. Software SIG ArcGis.

Figura 2. Mapa de Localización de la Zona de Estudio. Base Natural.



Municipio de La Ceja del Tambo

Sistema de Coordenadas Proyectadas: Magna Colombia Bogotá
 Datum: Magna
 Unidades: Metros
Escala: 1:35.000

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
 Facultad de Ciencias Económicas

Convenções

- Límite municipal
- Catastro
- Polígono Fluvial
- Aguas
- Dinámicas de Población
- Contorno Topográfico
- Vista

Altitud

- 1275
- 1200

Trabajo de grado

Incidencia de las dinámicas económicas sobre la disponibilidad hídrica del municipio de La Ceja, Antioquia: SIG y análisis exploratorio de datos espaciales

Autor:	Yuber Steven Osorio Otálvaro
Fecha:	07 de agosto del 2020
Nombre:	Mapa de Localización
Asesor:	Juan Camilo Rengifo López

Fuente: Elaboración propia. Software SIG ArcGis.

METODOLOGÍA

La presente investigación contempla una metodología mixta. En primer lugar, se trata de comprender la disponibilidad hídrica del municipio de La Ceja a la luz del concepto de sostenibilidad ambiental urbana. Esto se plantea a razón de caracterizar las dinámicas económicas del municipio y los posibles efectos que han tenido al momento de analizar cómo está la balanza entre la oferta y la demanda de recurso hídrico y qué implicaciones ha tenido sobre el desarrollo del municipio. En este sentido, se hace uso de la Cartografía Oficial del Municipio para observar el perímetro urbano, las áreas de expansión y futuros desarrollos y la clasificación del sistema de tratamientos urbanos.

Se debe entender que las fuentes secundarias comprenden materiales bibliográficos como estadísticas, censos, anuarios estadísticos; documentos institucionales como memorias, informes, actas, expedientes leyes, informes de investigación entre otros, que posibilitan la recolección de datos que posteriormente se puedan llevar a una herramienta SIG bien sea para producir nuevos datos que puedan ser analizados por un Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE). La herramienta cuantitativa para procesar la información se hace a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG), el cual se alimenta de una elaboración de cartografía propia a través de digitalización de localizaciones del municipio de La Ceja en formato vectorial y así evidenciar la presión del recurso hídrico a través de herramientas de interpolación propias de los archivos tipo ráster (Londoño & Valdés, 2012), los cuales están enmarcadas en un AEDE y exploración de estadística espacial para identificar la presión hídrica.

Dado que se cuenta con datos georreferenciados, esta investigación parte de un AEDE con base en atributos del PBOT del municipio. De acuerdo con Bohórquez & Velásquez (2008) este análisis *“está constituido por diversas técnicas que permiten explorar los datos espaciales, resumir las propiedades espaciales de los datos, detectar patrones en los datos, formular hipótesis que se refieren a la presencia de fenómenos espaciales dentro de los datos e identificar casos o subconjuntos de casos que son inusuales dada su localización en el mapa”* (p.20). Este tipo de análisis posibilitará la observación, por un lado, de los patrones que reporta el sistema de drenaje del municipio y la variación de valores porcentuales en metros cúbicos de agua como medición de cuáles son las zonas del territorio que captan mayores volúmenes del recurso hídrico y que afectan a otras zonas del territorio como posible influencia del proceso urbanizador y del sector floricultor que acarrearán un cambio en los caudales.

De este modo, Bohórquez & Velásquez (2008) aseveran que *“La información obtenida para uso de la ciencia regional posee características que provienen de su ubicación geográfica. Esta información posee características que constituyen los denominados efectos espaciales, los cuales pueden ser divididos en dos tipos: dependencia espacial y heterogeneidad espacial”* (p.13). Con respecto al primer concepto, la dependencia espacial de una muestra de datos se refiere al hecho de que una observación asociada en un punto específico puede denominar a otra observación i , y , además, depende de otras observaciones asociadas con otras localizaciones j_i . De otro lado, el término heterogeneidad espacial se refiere al nivel de variación de las relaciones sobre el espacio estudiado.

Técnicas de recolección y fuentes de información

Los métodos de recolección de datos de esta investigación se basaron en fuentes primarias y fuentes secundarias. Respecto a las fuentes secundaria de información, se obtuvo gran parte de la cartografía oficial de la última revisión del PBOT del municipio de La Ceja correspondiente al año 2018 así como su más reciente Plan de Manejo de Acueducto y Alcantarillado 2015. Se tiene entonces que se obtuvo la Cartografía oficial por parte de la Alcaldía Municipal de La Ceja, versión final de la Cartografía del PBOT como a los polígonos establecidos donde se encuentren los componentes: General, Urbano, Rural y Programa de Ejecución. Previos derechos de petición, La Alcaldía de La Ceja suministró 7 documentos donde se encuentran en efecto, el documento resumen del PBOT, su memoria justificativa, expediente municipal, estudios básicos de amenaza y riesgo, proyecto de acuerdo del PBOT y el Documento Técnico de Soporte y Diagnostico del mismo. También se tuvo acceso a las anteriores revisiones y ajustes a 2018 para observar cambios en los usos y tratamientos urbanos.

También, se tuvo acceso al Plan de Manejo de Acueducto y Alcantarillado (PMA) de las Empresas Públicas de La Ceja (2015). Previa solicitud a las E.S.P con derecho de petición se tuvo acceso a 6 componentes sobre el diagnóstico y alteraciones, estudio y diseños, estudio financiero, gestión social, informe ambiental y el estudio jurídico del mismo.

Ahora bien, se realizó una encuesta con dos preguntas específicas a una muestra de 99 habitantes del municipio que vivieran en desagregadas partes del área urbana. Las preguntas realizadas fueron respecto a la ubicación en coordenadas geográficas del lugar de la vivienda y el promedio de metros cúbicos de agua consumidos en el último periodo registrados en la factura de servicios públicos. Adicional a esto, a los puntos de orden residencial, se le añadieron 50 puntos georreferenciados del

PMA con valores en metros cúbicos de consumos promedios de agua del sector comercial, industrial y agropecuario; en total se obtuvo una muestra consolidada de 149 observaciones.

Dinámicas económicas del Municipio de La Ceja.

Las actividades económicas son relevantes en la cotidianidad de los seres humanos. Es por medio de estas que la gran mayoría de las personas logran satisfacer sus necesidades. Ahora bien, el municipio de La Ceja se ha caracterizado por tener potencial agrícola y pecuario; sin embargo, esta ventaja comparativa parece ir en declive puesto que el sector rural es de poco atractivo para los jóvenes, los cuales, no se ven atraídos por los escasos proyectos que involucran zonas del territorio (Concejo Municipal, 2018b).

De esta manera, se reconoce qué actividades hay dentro de los sectores involucrados en esta investigación y, además, adquieren interés de ser estudiados debido a que, pueden generar externalidades que de alguna manera generan condiciones que modifiquen la percepción del análisis exploratorio sobre la problemática socio ambiental entorno al recurso hídrico del municipio:

Sector primario

En el sector primario se encuentran actividades económicas con significativa trascendencia para el territorio pues aportan a la dinamización de este. Entre ellas se encuentran el sector floricultor, agrícola y pecuario.

El sector floricultor siempre ha sido un renglón de actividad económica para el municipio. Desde hace varias décadas hace presencia en el territorio, por lo cual hace parte de sus dinámicas y externalidades independientemente de su índole.

El sector floricultor deja entre ver su magnitud e incidencia en el territorio, pues de acuerdo con el Concejo Municipal (2018b, p. 301)“...en la zona norte del municipio de La Ceja se encuentran alrededor de 87 cultivos de flores en las veredas San Nicolás, Guamito, San Miguel, Lomitas, La Milagrosa y El Tambo. En esta zona abundan los cultivos bajo invernadero, ubicados en grandes extensiones de tierra, más tecnificados y que requieren vinculación de mano de obra cualificada y no cualificada debido a que 22 de estas empresas exportan a gran escala”. En 456.7 hectáreas, en donde se generan 3.370 empleos, es decir, el 33.4% del total de los empleos del municipio(Concejo Municipal, 2018b) lo que demuestra que el sector floricultor ocupa un papel destacable en el desarrollo del territorio. Un dato secundario, pero no menos relevante, es que la floricultura es la actividad

agrícola que más emplea mano de obra por hectárea, además, de que cierta parte de estos trabajadores que se emplean deben ser profesionales de diferente índole (Concejo Municipal, 2018b, p.81). Por su parte, la actividad pecuaria es una actividad que ha generado grandes externalidades en el municipio; entre 1996-1997 se contaban 15.200 cabezas de ganado. No obstante, su importancia ha sido desplazada por otras actividades que a partir de 2018 ha disminuido a 10.525 cabezas de ganado donde da a conocer que la actualidad se produce cerca de 70.000 litros de leche por día (Dirección Agroambiental Municipal: 2013 citado por Concejo Municipal, 2018b). Por último, la agricultura como actividad económica del municipio de La Ceja se basa fundamentalmente como revela el Concejo Municipal (2018b, p.280) *“en el tomate de árbol, plátano, mora, café variedad caturro, castillo y variedad Colombia, frutas, legumbres y hortalizas y su principal producto de exportación son las flores.”*

Sector Secundario

El municipio de La Ceja cuenta con un gran número de pequeñas empresas y un pequeño número de grandes industrias dedicadas a la manufactura de productos que brindan una buena oferta como lo describe el documento diagnóstico del Concejo Municipal, 2018b.

El sector secundario, el cual está constituido por la pequeña industria artesanal, la cual se caracteriza por la transformación de materia prima en productos elaborados o semi-elaborados, está representado por pequeñas industrias como talleres de ebanistería, carpintería, panaderías, confecciones, entre otras. Sin embargo, el municipio cuenta con cinco industrias grandes, ubicadas por fuera del perímetro urbano, entre ellas están Natural Control, ubicada en la Vereda San Nicolás, Colombiana S.A. TANN y Sociedad Inmunizadora SERYE S.A. ubicadas en la vía La Ceja - La Unión y Cárnicos S.A. en el km 3 vía La Ceja – Rionegro. (p.202)

Sector Terciario

Las actividades más representativas de este sector que se dan en el municipio son el comercio y servicios ya que de acuerdo con Rincón Zapata et al., (2019) generan el 18.9% y el 25.9% de los empleos respectivamente. Estas actividades se concentran en las vías principales del municipio, parque principal, el sector la cruz y la zona del centro comercial VIVA La Ceja. En el territorio se encuentra gran diversidad de negocios que abarcan la demanda de bienes y servicios del municipio, razón por la cual en el territorio hacen presencia *“...almacenes, graneros, mini-mercados,*

misceláneas, víveres, ferreterías, entre otros y, de otra parte, brindar los servicios financieros, sala de belleza, parqueaderos, veterinarias, restaurantes, hospedajes, servicios de transporte urbano e intermunicipal, servicios de salud, funerarias, aeropostal, entre otros.” (Concejo Municipal, 2018b, p.303).

A continuación, se lleva a cabo una producción de cartografía con respecto a los usos de suelo, tratamientos urbanos y redes de acueducto y localización de áreas para la producción de flores con el propósito de observar su distribución espacial en el perímetro circundante urbano del municipio.

La **figura 3** detalla los usos de suelo del municipio de La Ceja. En su zona urbana y de expansión cuenta con 617,52 ha de las cuales se dedican 83,86 ha de suelo a uso mixto. El suelo de uso mixto está distribuido así: El suelo urbano se compone de 445,66 ha de las cuales 75,83 son de uso mixto; el suelo de expansión se compone de 171,86 ha de las cuales 8 ha son dedicadas al uso mixto. Ahora bien, se entiende por suelos de uso mixto todas esas zonas y corredores donde predominan las actividades comerciales y de servicios (PBOT, 2018) la cual representa el 13.6% aproximadamente de la zona urbana y de expansión. La mayor parte del uso mixto se encuentra distribuido en varios corredores y varias zonas donde el parque principal y sus vías arterias componen el uso mixto. Allí se encuentran las vías que comunican a Rionegro por el nororiente, las conducen a Medellín por el este, las comunican al sur con Abejorral y al oriente con La Unión.

Si se tiene en cuenta que el uso del suelo mixto compone tan solo el 13.6% aproximadamente del suelo urbano y de expansión, pero en tema de empleo genera el 44.8% de los empleos del municipio lo que se traduce a 15.192 personas aproximadamente que desarrollan su actividad económica en este sector como se puede ver en la **tabla 1**. Se infiere su participación en la economía del municipio.

Tabla 1. Participación sobre el empleo respecto a renglón de actividad económica.

Renglón Económico	(%) Participación sobre el empleo.
Servicios	25.9
Industria	9.1
Comercio, restaurantes y hoteles	18.9
Floricultura	18.2
Agricultura	11.2
Construcción	4.9
Otro	11.8

Fuente: Elaboración propia con datos de Rincón Zapata et al. (2019)

Ahora bien, la **figura 4** refleja los tratamientos urbanos del municipio. Este tiene dentro del área urbana varias zonas las cuales van a tener una intervención por medio la construcción, las cuales discrimina de la siguiente forma: 111,98 ha para el desarrollo del suelo urbano y 26,89 ha de renovación por desarrollo para un total 138,88 ha en este tipo de tratamiento urbano. El municipio tiene una planificación que involucra en gran medida al sector de la construcción, pero este sector tan solo genera 1.661 empleos directos (Rincón Zapata et al., 2019) lo que demuestra que es un sector que genera externalidades positivas al municipio y contribuye a sus dinámicas económicas.

Finalmente, la **figura 5** muestra la red de drenajes del municipio entre afluentes hídricos y la red de acueducto como la localización de las áreas para el cultivo de flores. Las floristerías abarcan 343 ha del total de 13.100 ha que tiene el municipio lo que representa tan solo 2.6% del área total del municipio. Por otra parte, hablar del área total que ocupan las floristerías en contraste al área de expansión es más diciente puesto que el área que ocupan las floristerías (343 ha) duplica la expansión y en cuanto a la zona urbana el espacio utilizado para cultivos (solo plantación) ocuparía aproximadamente el 77% del espacio que utiliza la zona mencionada. Dentro de este contexto queda mencionar que las floristerías generan el 18.2% de los empleos (Rincón, ET., AL, 2019) es decir 6.171 empleos directos. La **tabla 2** presenta un resumen producto de esta cartografía presentada.

Tabla 2. Resumen de datos sobre el Municipio de La Ceja.

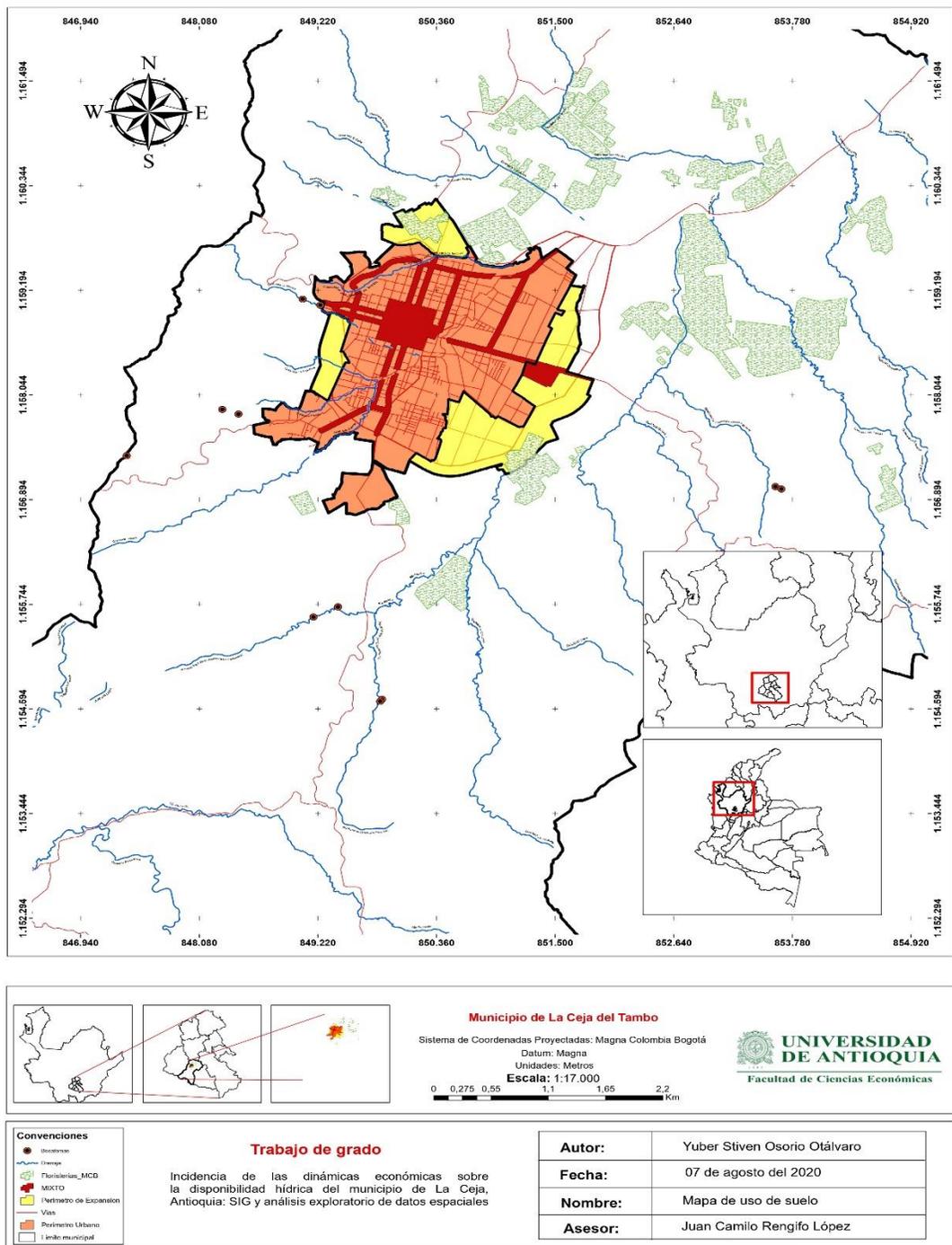
Resumen de Datos
33.912 población económicamente activa
83,861378 ha total uso mixto
8,024048 ha expansión uso mixto
75,83733 ha urbano uso mixto
171,86 ha suelo de expansión
445,66 ha suelo urbano
343,065014 ha floristerías
13100 ha territorio total del municipio
111,987606 ha desarrollo suelo urbano
26,893338 ha renovación por desarrollo
138,880944 ha total de construcción por desarrollo

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, se observa cómo la vocación del municipio se ha ido transformando en años recientes porque anteriormente era considerado un territorio con una alta dedicación hacia la floricultura, sin embargo, con base en Rincón Zapata et al. (2019) el 44% de la personas trabaja tan solo en el sector terciario de modo que, por temas de recaudación de industria y comercio más el predial, han facilitado

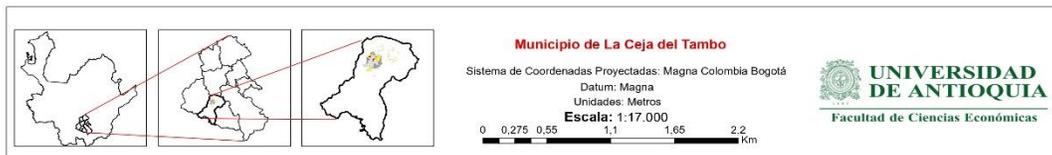
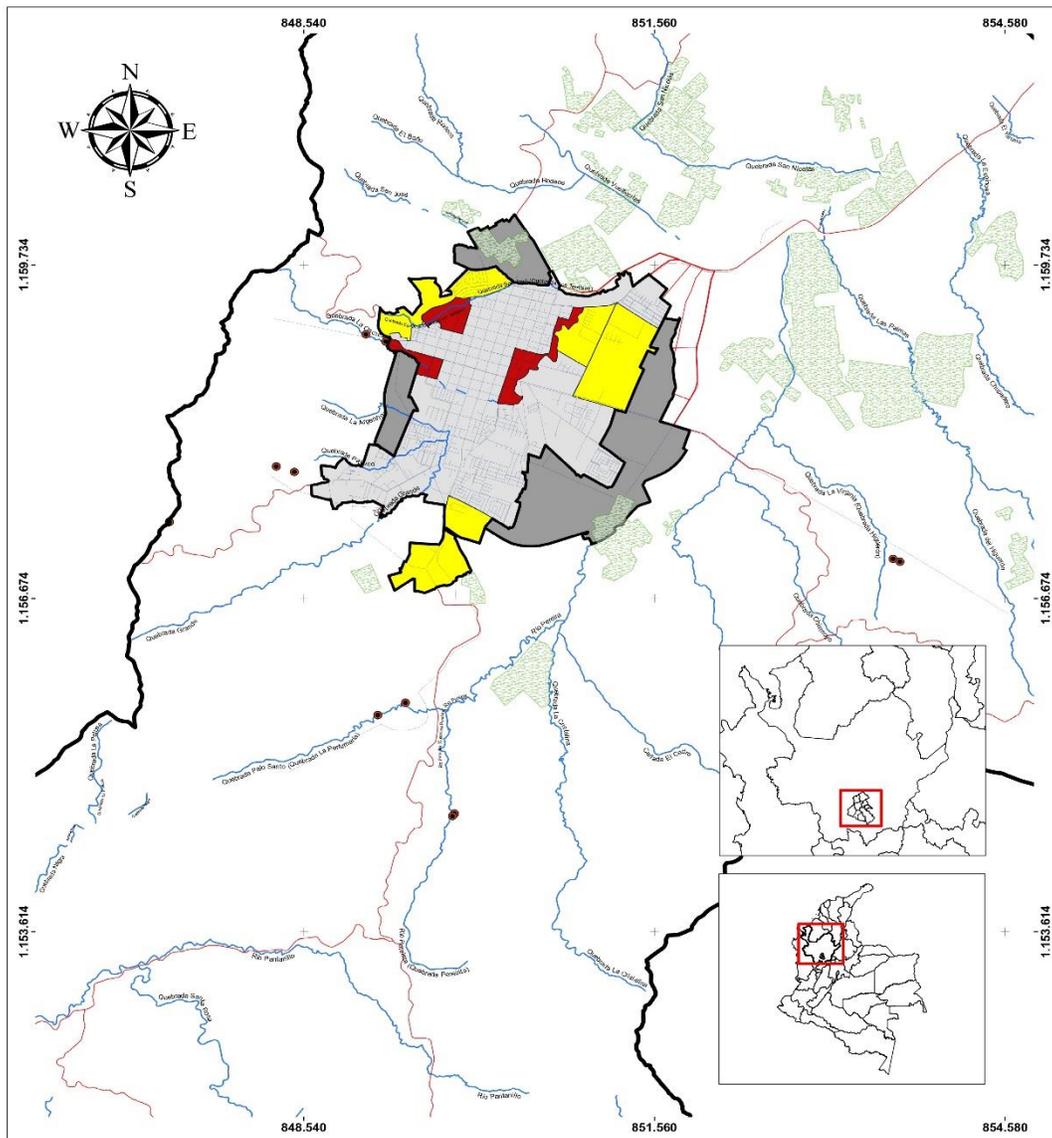
que el municipio, en la administración 2015 - 2019, se ubicara en la tercera categoría dada la disposición de un mayor valor de ingresos corrientes de libre destinación.

Figura 3 . Usos de Suelo. Municipio de La Ceja.



Fuente: Elaboración propia con base en PBOT (2018). Software SIG ArcGis.

Figura 4. Tratamientos Urbanos. Municipio de La Ceja.



Convenciones

- Fincas_MCR
- Rocas/rocas
- Change
- Riegos/Canales Urbanos
- DESARROLLO SUELO URBANO
- RENOVACIÓN POR DESARROLLO
- Paisaje Urbano
- Vías
- Límite territorial

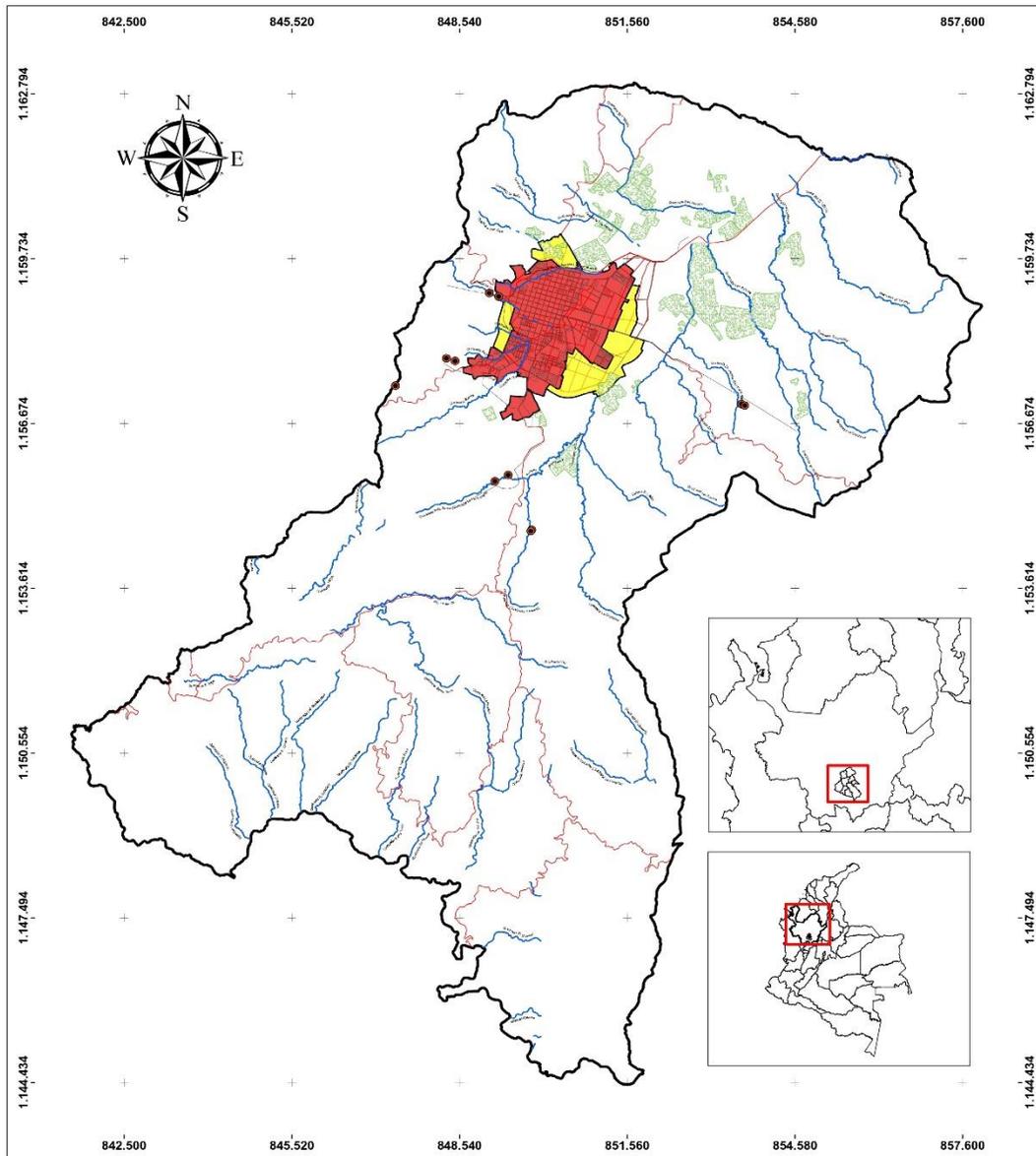
Trabajo de grado

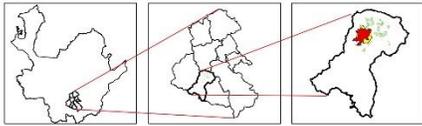
Incidencia de las dinámicas económicas sobre la disponibilidad hídrica del municipio de La Ceja, Antioquia: SIG y análisis exploratorio de datos espaciales

Autor:	Yuber Stiven Osorio Otálvaro
Fecha:	07 de agosto del 2020
Nombre:	Mapa de Tratamientos Urbanos
Asesor	Juan Camilo Rengifo López

Fuente: Elaboración propia con base en PBOT (2018). Software SIG ArcGis.

Figura 5. Drenajes, usos de Suelo y áreas de producción de Flores. Municipio de La Ceja.





Municipio de La Ceja del Tambo

Sistema de Coordenadas Proyectadas: Magna Colombia Bogotá
Datum: Magna
Unidades: Metros
Escala: 1:35.000





UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Facultad de Ciencias Económicas

Convenciones	Trabajo de grado									
<ul style="list-style-type: none"> ■ Polígonos Floristerias ● Bocanomas — Acueducto Urbano — Drenaje ■ Perímetro de Expansión ■ Perímetro Urbano — Vías 	<p>Incidencia de las dinámicas económicas sobre la disponibilidad hídrica del municipio de La Ceja, Antioquia: SIG y análisis exploratorio de datos espaciales</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Autor:</td> <td>Yuber Stiven Osorio Otálvaro</td> </tr> <tr> <td>Fecha:</td> <td>07 de agosto del 2020</td> </tr> <tr> <td>Nombre:</td> <td>Mapa de Acueducto</td> </tr> <tr> <td>Asesor:</td> <td>Juan Camilo Rengifo López</td> </tr> </table>	Autor:	Yuber Stiven Osorio Otálvaro	Fecha:	07 de agosto del 2020	Nombre:	Mapa de Acueducto	Asesor:	Juan Camilo Rengifo López
Autor:	Yuber Stiven Osorio Otálvaro									
Fecha:	07 de agosto del 2020									
Nombre:	Mapa de Acueducto									
Asesor:	Juan Camilo Rengifo López									

Fuente: Elaboración propia con base en PBOT (2018). Software SIG ArcGis.

RESULTADOS

Se usaron las técnicas de densidad e interpolación de Densidad de Kernel con y sin peso espacial, Kriging y el método de la distancia inversa ponderada. La forma de presentación de la cartografía tomó los valores de pixel reflejados por la desviación estándar en forma suavizada a través de la visualización de semáforo. Esta investigación al final elige el criterio de la metodología de interpolación IDW; sin embargo, presenta un insumo para la comunidad académica al explorar otras técnicas dependiendo del caso de análisis sobre la variable de estudio, en este caso, la variable corresponde con consumo en metros cúbicos de agua.

Inicialmente, se realizó un ejercicio exploratorio con la técnica *line Density* por medio de una capa vectorial de líneas donde se llevó a cabo un análisis de la densidad de las redes de acueducto del municipio. Este resultado se presenta en la **figura 6** donde las intensidades más altas, color café oscuro, en la distribución de agua del municipio. Este mapa refleja las zonas del municipio con mayor densidad de construcciones urbanas además de evidenciar los futuros lugares de desarrollo urbano que se proyectan con el perímetro del área de expansión urbana. El corredor oriental entre las glorietas de La Unión y Rionegro tenderían a tener ese futuro desarrollo.

Ahora bien, teniendo la muestra de 149 puntos con valores de consumo en metros cúbicos de agua promedio se procede a llevar a cabo la técnica de Densidad de Kernel, Kriging e IDW. Las **figuras 7 y 8** son el resultado de la técnica de densidad de Kernel con y sin pesos espaciales. Esta técnica refleja un modelo raster para visualizar densidades. En este caso, el software ArcGis tiene diferentes métodos para calcular esta densidad. Kernel es un método que, a diferencia de otros, trabaja con un modelo matemático el cual posee el nombre de esta herramienta. Además, este tipo de densidad hace un análisis espacial sobre unidades por área dentro de un radio circular de acción encontrando visualmente las áreas con mayor densidad de puntos de elementos a evaluar.

La ventaja que proporciona Kernel en comparación a otros métodos de densidad es que elige entre usar un campo de población o atributo medible o contable de elementos que se han generado en una capa. Además, no se limita a usar una capa de tipo punto. También, puede ser usado uno de tipo línea. A diferencia de la densidad normal, la herramienta de Kernel elabora un modelo con un diseño mucho mejor que las otras herramientas puesto que da una suavización al momento de hacer las densidades dando un aspecto de un mapa de calor. Otra gran diferencia es que se puede elegir la unidad de trabajo ya sean kilómetros cuadrados, metros cuadrados, hectáreas, entre otros. Las otras herramientas para calcular la densidad no indican este valor. Simplemente solicitan el dato de la

cantidad de área con base al sistema de referencia que se está usando para un área de trabajo determinada

En esta investigación, las **figuras 7 y 8** sólo muestran la distribución en densidad de los puntos georreferenciados tenidos en cuenta para el análisis. Cuando se añade el peso espacial, este corresponde con el valor de metros cúbicos y focaliza más la suavización de la densidad como inicialmente lo presentó la **figura 7**. Se observa entonces que la distribución espacial se enmarca toda el área urbana del municipio y aquí el análisis no tiene en cuenta la influencia de los puntos más lejanos como si lo obtendrán por medio de interpolación.

A continuación, se procede con las técnicas de interpolación de Kriging e IDW que identificarán un patrón de presión hídrica. En este punto, es acertado definir el concepto de interpolación. Se dice que la suposición que hace que la interpolación sea una opción viable es que los objetos distribuidos espacialmente están correlacionados espacialmente, es decir, las cosas que están cerca tienden a tener características similares. Por ejemplo, si llueve de un lado de la calle se puede prever con un alto nivel de confianza que está lloviendo del otro lado de la calle. Tendría menos certeza sobre si está lloviendo en todo el pueblo y menos aún cerca del estado de tiempo en el territorio vecino. Con esta analogía se quiere dar a entender que los valores de los puntos cercanos a los puntos de muestra tienen más posibilidades de ser similares que los que están más alejados. Esta es la base de la interpolación. Un uso común de la interpolación de punto es crear una superficie de elevación a partir de un conjunto de mediciones de muestra.

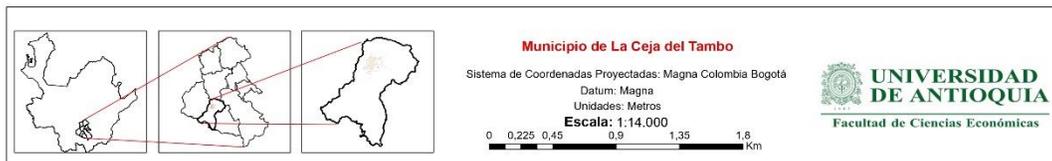
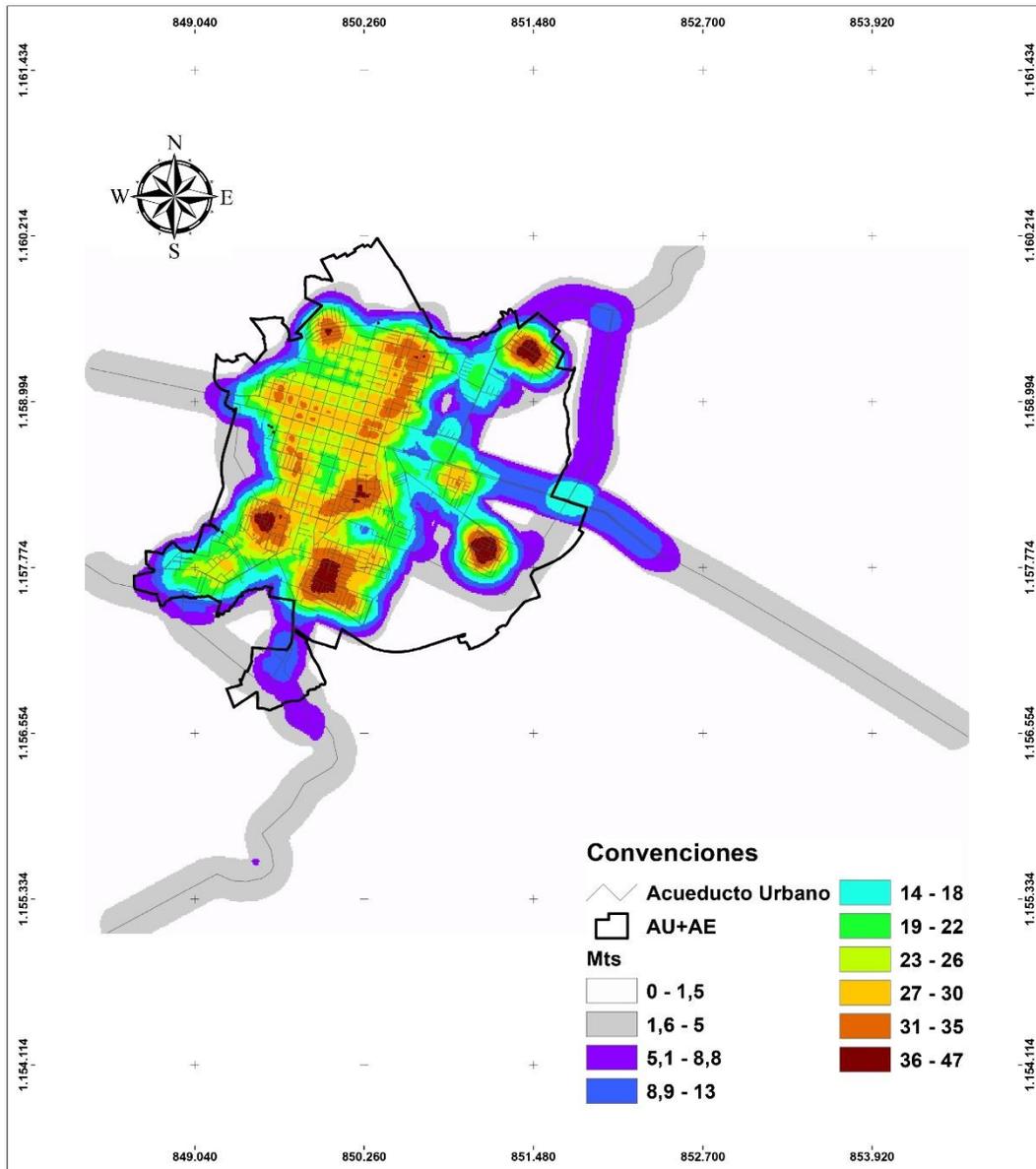
En ese orden de ideas, el método de interpolación de Kriging es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores. Kriging presupone que la distancia o la dirección entre los puntos de muestra refleja una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie. La herramienta Kriging ajusta una función matemática a una cantidad especificada de punto o a todos los puntos dentro de un radio específico para determinar el valor de salida para cada ubicación. Kriging es un proceso que tiene varios pasos entre los que se incluyen el análisis estadístico exploratorio de los datos, el modelado de variogramas, la creación de la superficie y, opcionalmente, de exploración de la superficie de variantes. Este método es más adecuado cuando se sabe que hay una influencia direccional o de la distancia correlacionada espacialmente en los datos. Se utiliza a menudo en la ciencia del suelo y geología.

La visualización de esta técnica se observa en la **figura 9**. Si bien se detallan mejor los núcleos que tienden a tener mayor presión hídrica, a diferencia de a la densidad de Kernel, se toman valores próximos que incluso abren aún más el espacio sobre zonas que se pensaba que con los puntos originales no iban a presentar un patrón de presión hídrica, caso la zona norte del municipio que parece ser que tiende al proceso de análisis.

Finalmente, se presenta el método de interpolación IDW. La interpolación mediante distancia inversa ponderada determina los valores de celdas a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra. La ponderación es una función de la distancia inversa. La superficie que se interpola debe ser la de una variable dependiente de la ubicación. Este método presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia de su ubicación de muestra. Es considerado un método de interpolación determinístico porque están basados directamente los valores medidos circundantes o en expresiones matemáticas específicas que determinan la suavidad de la superficie resultante.

Dada esta conceptualización, la **figura 10** visualiza este método. En ese orden de ideas, y con base en el ejercicio investigativo de este trabajo, la técnica que refleja un mejor patrón espacial de presión hídrica con base en los puntos georreferenciados es la de IDW. Este método al aplicar una valoración de distancia inversa no sólo está midiendo el grado de dependencia espacial del punto con respecto a los valores de metros cúbicos; también, está calculando distancias entre varias opciones de puntos en medidas unidireccionales y bidireccionales, por lo que lo convierte en un método determinístico, pero de carácter exploratorio. De esta manera, y con base en la caracterización de las dinámicas económicas, así como en la producción de cartografía con base en el ajuste del PBOT del 2018, el área definida como de expansión y las intensidades más altas de acuerdo a la paleta de colores del semáforo, se concluye una correspondencia espacial sobre todo que tiende a presentarse en la parte norte del municipio y su corredor nororiental

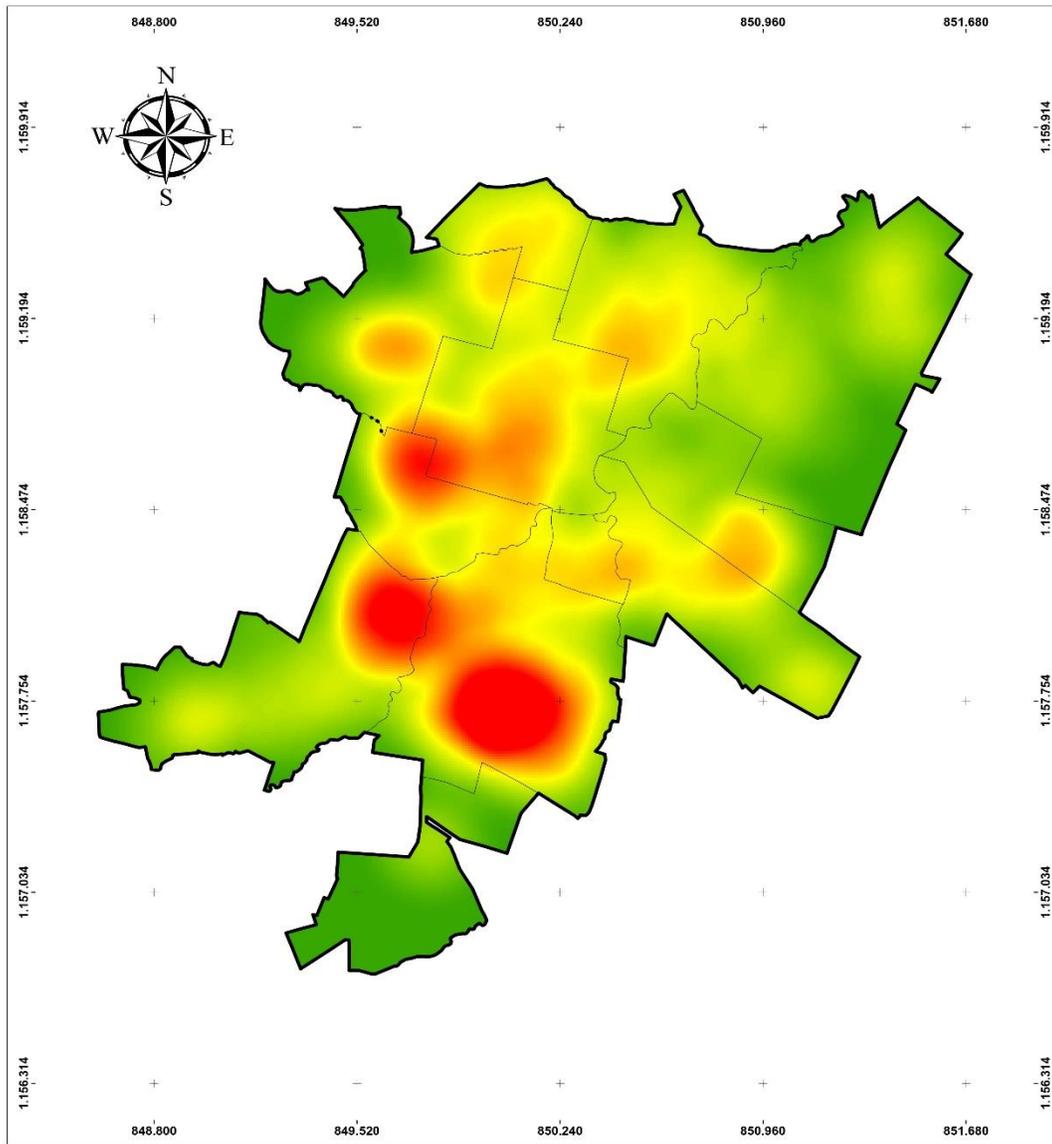
Figura 6. Densidad de la red de acueducto del municipio de La Ceja.

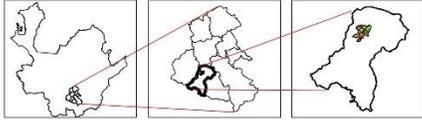


<p>Trabajo de grado</p> <p>Incidencia de las dinámicas económicas sobre la disponibilidad hídrica del municipio de La Ceja, Antioquia: SIG y análisis exploratorio de datos espaciales</p>	Autor:	Yuber Stiven Osorio Otálvaro
	Fecha:	31 de agosto del 2020
<p>Técnica</p> <p>Inverse Distance Weighting (Pesos Espaciales)</p>	Nombre:	Densidad de la red de acueducto
	Asesor:	Juan Camilo Rengifo López

Fuente: Elaboración propia. Software SIG ArcGis

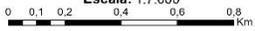
Figura 7. Densidad de Kernel. Puntos de Información





Municipio de La Ceja del Tambo

Sistema de Coordenadas Proyectadas: Magna Colombia Bogotá
Datum: Magna
Unidades: Metros
Escala: 1:7.000





UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Facultad de Ciencias Económicas

Convenciones

- Perímetro Urbano
- Límite Barrio

Densidad (Mts)

Alta: 110,144

Baja: 0

Trabajo de grado

Incidencia de las dinámicas económicas sobre la disponibilidad hídrica del municipio de La Ceja, Antioquia: SIG y análisis exploratorio de datos espaciales

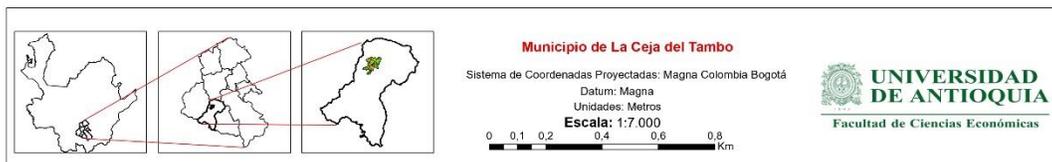
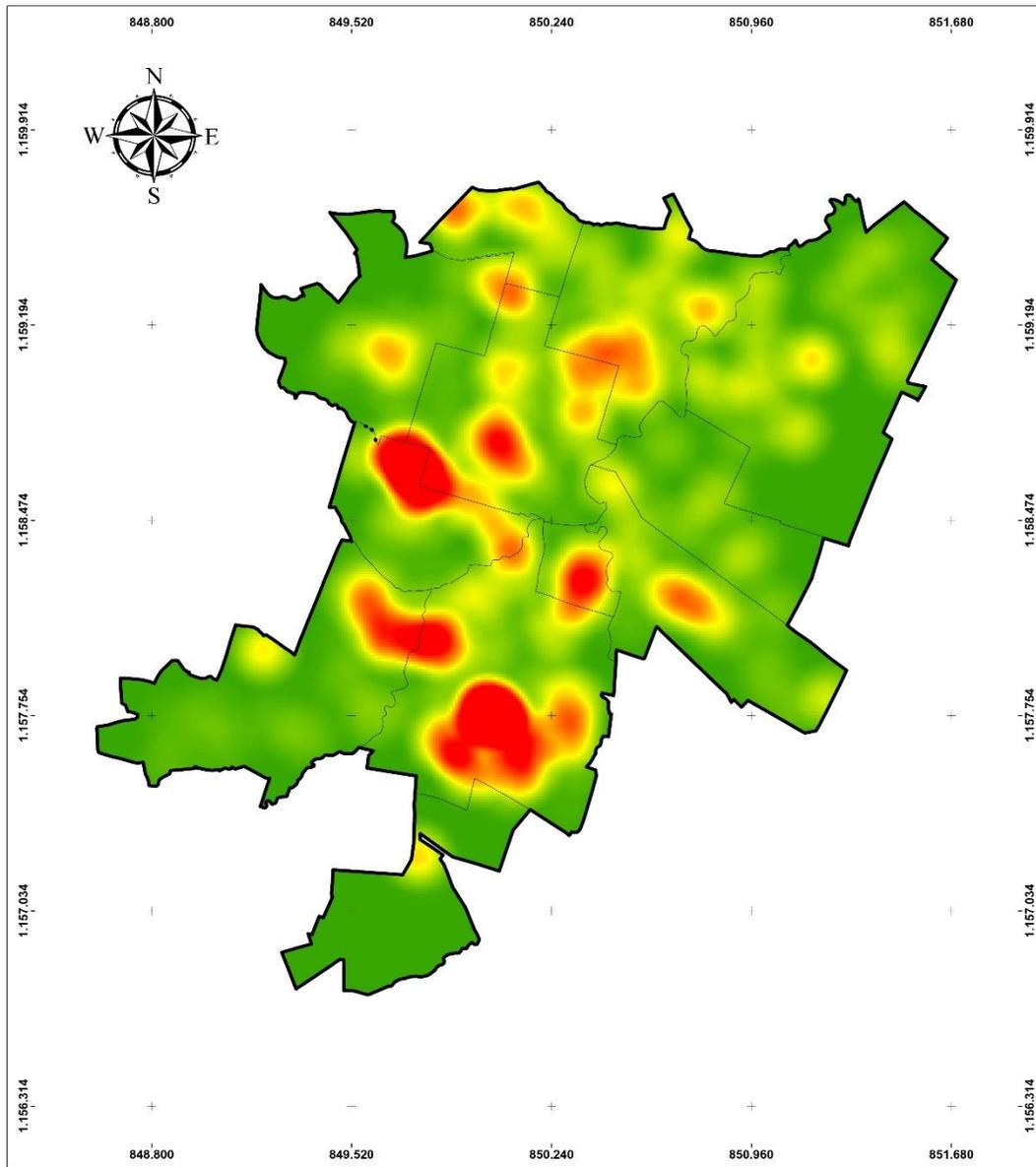
Técnica

Densidad de Kernel

Autor:	Yuber Stiven Osorio Otálvaro
Fecha:	31 de agosto del 2020
Nombre:	Densidad de Kernel (Puntos de información)
Asesor:	Juan Camilo Rengifo López

Fuente: Elaboración propia. Software SIG ArcGis

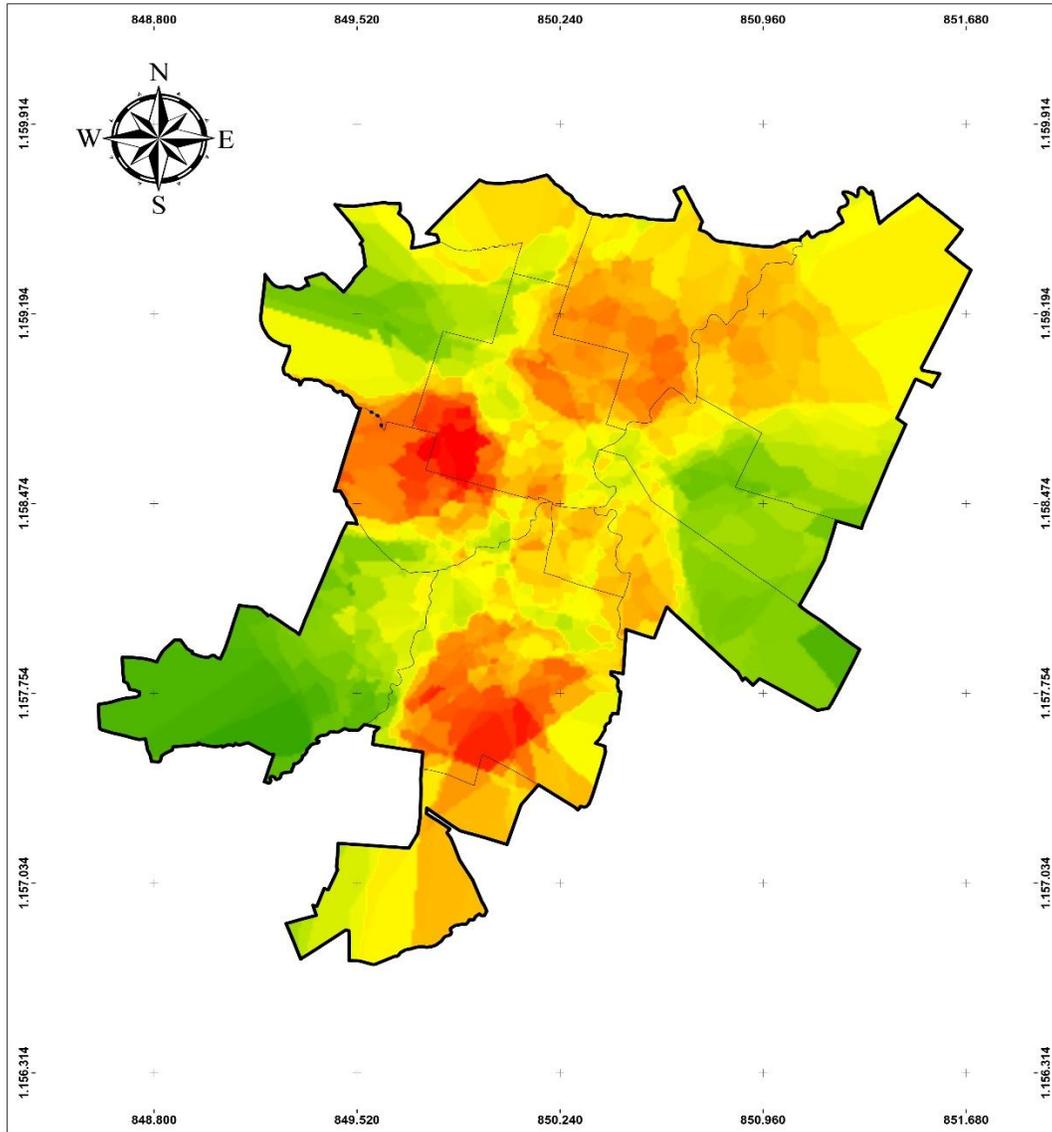
Figura 8. Densidad de Kernel. Puntos de Información y peso espacial.



Convenciones Perimetro Urbano Límite Barrio Densidad Mts: 2972.00 Mapa D	Trabajo de grado Incidencia de las dinámicas económicas sobre la disponibilidad hídrica del municipio de La Ceja, Antioquia: SIG y análisis exploratorio de datos espaciales Técnica Densidad de Kernel (Pesos Espaciales)	Autor: Yuber Stiven Osorio Otálvaro Fecha: 31 de agosto del 2020 Nombre: Densidad de Kernel (Puntos de información) Asesor: Juan Camilo Rengifo López
---	---	--

Fuente: Elaboración propia. Software SIG ArcGis

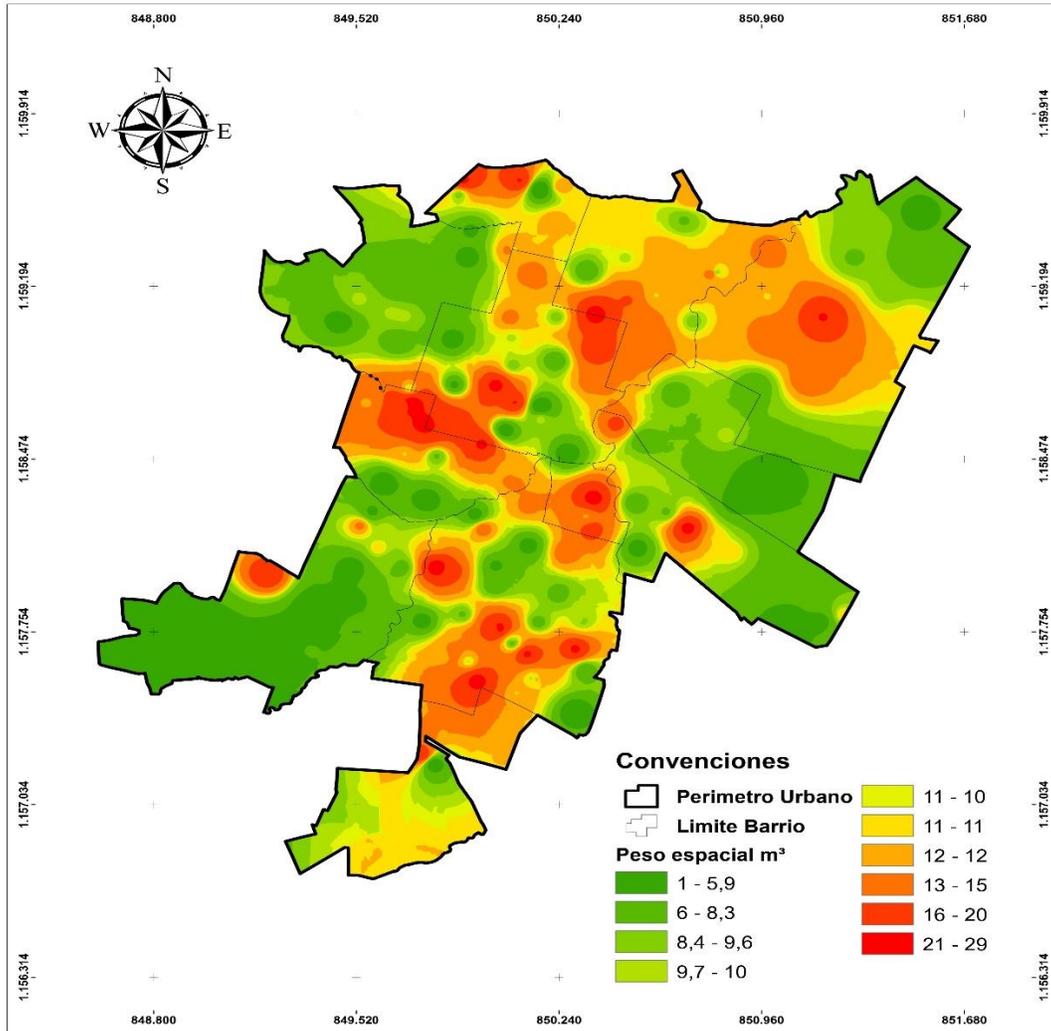
Figura 9. Kriging. Patrón de presión hídrica y peso espacial.



Convenções Polímetro Urbano Límite Barrio m² Alta: 16.2199 Bajo: 5.41541	Trabajo de grado Incidencia de las dinámicas económicas sobre la disponibilidad hídrica del municipio de La Ceja, Antioquia: SIG y análisis exploratorio de datos espaciales	Autor: Yuber Stiven Osorio Otálvaro Fecha: 31 de agosto del 2020 Nombre: Patrón de presión hídrica (Análisis exploratorio) Asesor: Juan Camilo Rengifo López
	Técnica Kriging	

Fuente: Elaboración propia. Software SIG ArcGis

Figura 10. Inverse Distance Weighting. Patrón de presión hídrica y peso espacial.



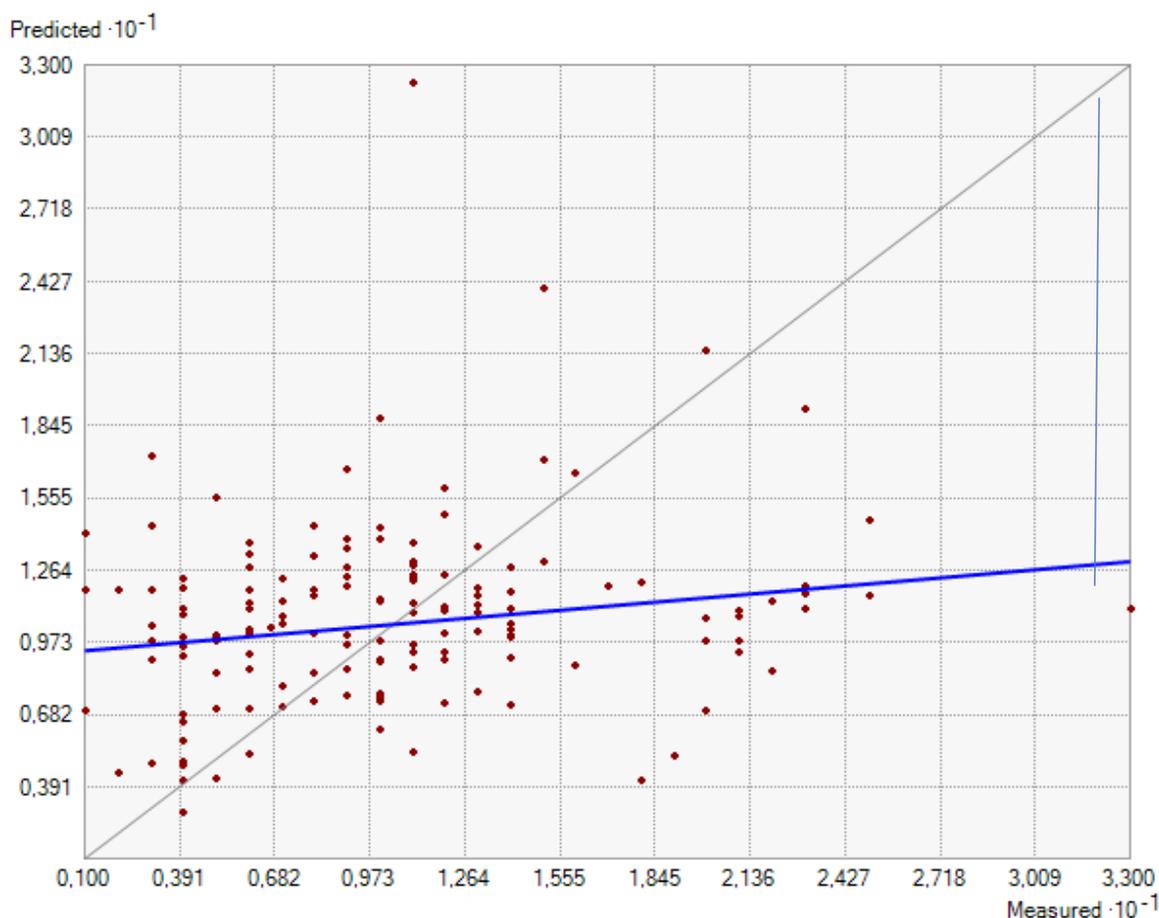
<p>Trabajo de grado Incidencia de las dinámicas económicas sobre la disponibilidad hídrica del municipio de La Ceja, Antioquia: SIG y análisis exploratorio de datos espaciales</p> <p>Técnica Inverse Distance Weighting (Pesos Espaciales)</p>	Autor:	Yuber Silven Osorio Otlávaro
	Fecha:	31 de agosto del 2020
	Nombre:	Mapa de presión hídrica (Análisis exploratorio)
	Asesor:	Juan Camilo Rengifo López

Fuente: Elaboración propia. Software SIG ArcGIS

La **figura 11** muestra el gráfico exploratorio de la presión hídrica del municipio de La Ceja con base en los puntos de información recolectados. En este nivel exploratorio este representa el gráfico más relevante de esta investigación. La variable independiente corresponde al valor de metros cúbicos

percibido dentro del modelo y la variable dependiente corresponde a su valor de proyección dado que se usó un modelo de interpolación el cual tomó valores de proximidad espacial con pesos espaciales derivados de la técnica de la distancia inversa ponderada y donde la interpretación se hace con respecto a la línea de 45 grados que se ve en la gráfica en color gris y el nivel de pendiente que tiene la línea de regresión azul.

Figura 11. Gráfico Exploratorio de Presión Hídrica.



Fuente: Cálculos propios. Salida Software ArcGis con la herramienta Geostatistical Analyst.

La ecuación de la línea de regresión es de $0,1121 \cdot x + 9,27$ donde el valor de 0,1121 corresponde con la pendiente o, en otras palabras, al nivel de variación del consumo de metros cúbicos de agua (X), el cual puede ser transformado a porcentaje (11,21%) y el valor de 9,27 corresponde con el intercepto. En suma, el valor medido con respecto al valor proyectado aumenta a una razón de 0,1121 metros cúbicos o, lo que es lo mismo, en promedio para el área urbana del municipio aumenta en 11%.

CONCLUSIONES

El uso de datos georreferenciados y la interpretación que provee un análisis exploratorio de datos espaciales a través de herramientas de estadística espacial, son la hoja de ruta correcta para observar patrones de presión hídrica en el municipio de La Ceja.

De esta manera la relación que existe entre esta investigación y el desarrollo territorial radica de dos maneras: por un lado, el capital humano que se forma en este campo de conocimiento técnico para realizar este tipo de ejercicios de corte exploratorio los cuales proveen métricas y parámetros a un territorio específico para que este tenga una mejor comprensión de la oferta de sus recursos hídricos sobre el perímetro urbano dada una dinámica económica. De otro lado, cómo hacer hablar el dato al momento de recomendar una acción específica teniendo en cuenta atributos cualitativos del territorio que den la puesta en marcha de un ejercicio de investigación mixto.

En ese orden de ideas, un AEDE brinda a profesionales en Desarrollo Territorial un análisis de situaciones que podrían convertirse en una problemática, cuya intervención de carácter preventiva supondría un costo social y económico menor a una medida correctiva. De esta manera, el papel de un profesional en desarrollo territorial como planificador territorial no es solo la resolución de conflictos que a priori pudieron ser analizados y comprendidos, pero por omisión no se toma ninguna medida de lo cual se podría evocar en un daño irreversible que sustancialmente genere una problemática y/o conflicto. Esta investigación genera una ruta en busca de la prevención de posibles problemáticas pues la sostenibilidad implica diagnósticos técnicos que permitan prever situaciones distópicas donde la capacidad de gerencia (margen de maniobra) institucional es mínima por lo cual metodologías como esta permiten generar un primer análisis para dar paso a procesos y medidas adecuadas a las especificidades territoriales.

Finalmente se aclara que esta investigación es de carácter exploratoria y coloca las bases de una hoja ruta para hallar índices de presión hídrica específicos, por ejemplo. Si bien se observa un patrón de presión hídrica el cual se corresponde con la caracterización de la dinámica económica del municipio, en un ejercicio más detallado se necesitan mayores puntos georreferenciados para hacer un análisis estadístico más minucioso para que éste sea de carácter confirmatorio. El reto en este tipo de trabajos radica en la obtención de datos de calidad y explorar, como se hizo en este trabajo, las diferentes técnicas exploratorias de datos que proporciona la estadística espacial.

BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo, L. C. (2007). Ciudades Globales , pobrezas locales. Territorios justos para ciudades sostenibles . In *Conferencia: La Globalización Neoliberal y La Planeación Urbano-Regional*.
- Bohórquez, I., & Velásquez, E. (2008). Algunos conceptos de la econometría espacial y el análisis exploratorio de datos espaciales. *Ecos de Economía*, 12(27), 9–34.
- Brundtland, G. H. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común. *Naciones Unidas*, 416.
- Carpintero, R., & Romano, V. (2000). Capital Natural y Sostenibilidad Económico-ecológica: Un Análisis Crítico de los Indicadores. *Departamento de Economía Aplicada Universidad de Valladolid, Valladolid, España*.
- Castro, J. E. (2017). Conflictos y luchas por el agua en el medio urbano : una contribución desde la sociología. In *El conflicto del agua : política, gestión, resistencia y demanda social* (Issue November, p. 29). Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO), Sede México.
- Concejo Municipal. (2018a). *Acuerdo 001 de 2018 por medio del cual se adopta la revisión y ajuste del Plan Básico de Ordenamiento Territorial PBOT del municipio de La Ceja del Tambo*. 369.
- Concejo Municipal. (2018b). *Documento de Diagnóstico del PBOT Municipio de La Ceja*. 315.
- Cornare. (2017). *Plan de Ordenación y Manejo de La Cuenca Hidrográfica del Río Negro*.
- Daly, H. (1997). De la economía de un mundo vacío a la de un mundo lleno en desarrollo económico sostenible, Avances sobre el informe Brundtland. *Tercer Mundo Editores, Bogotá*.
- Domínguez, E., Rivera, H., Vanegas, R., & Moreno, P. (2008). Relaciones de demanda-oferta de agua y el Índice de Escasez de agua como herramienta de evaluación del recurso hídrico colombiano. *Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.*, 32(123), 195–212.
- Empresas Públicas de La Ceja. (2015). *Plan de Manejo de Acueducto y Alcantarillado*.
- Gaviria, M. (2014). *El mercado, las políticas económicas y la transformación de los sistemas de producción familiar rural en el municipio de La Ceja, (Antioquia) 1980-2013*. Pontificia Universidad Javeriana.

- Hoorweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a Waste a Global Review of Solid Waste Management*. Urban Development Series Knowledge Papers. World Bank.
- Jiménez, L. (2002). La sostenibilidad como proceso de equilibrio dinámico y adaptación al cambio. *ICE: Revista de Economía*, 800, 65–84.
- Margalef, R. (1995). *La ecología entre la vida real y la física teórica*. Investigación y ciencia. Ed. *Prensa Científica, Barcelona*.
- Martin, L. (2013). Aguas Disputadas. Transformaciones Del Interes Público (Y Privado) En El Uso Del Agua Pública. *Passagens Revista Internacional de História Política e Cultura Jurídica*, 5(1), 3–28.
- MEA. (2005). Ecosystems and Human Well-Being. In *Assessment of Climate Change in the Southwest United States: A Report Prepared for the National Climate Assessment*. Island Press.
- Munevar, W. (2015). Gestión y valor económico del recurso hídrico. *Revista Finanzas y Política Económica*, 7(2), 279–298.
- Odum, E. (1997). *Ecología*. Interamericana, Mexico D. F.
- Rincón Zapata, C., Restrepo Ruíz, A. L., & Álvarez Valle, W. A. (2019). *El mercado laboral en el Oriente Antioqueño. Una caracterización de la oferta laboral en seis municipios*. Universidad Católica de Oriente.
- Rodríguez, C. Z. (2012). Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia: entre avances y retos. *Revista Gestión y Ambiente*, 3, 99–112.
- Sanchez-rodriguez, R. (2005). Sustentabilidad urbana, descentralización y gestión local. *Instituto Nacional de Ecología INE. México D.F, December, 17*.
- Zarate, J. de los S. (2006). *Agua: Conflicto Geopolítico*. Rebelión. <https://rebellion.org/agua-conflicto-geopolitico/>

