

Análisis de Turbidez basado en Caracterización de Contextos

Gastón Vidart¹, Alejandra Cechich¹, Agustina Buccella¹, and Ayelén Montenegro²

¹ GIISCO Research Group, Departamento de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Informática, Universidad Nacional del Comahue
gaston.vidart@est.fi.uncoma.edu.ar, alejandra.cechich@fi.uncoma.edu.ar,
agustina.buccella@fi.uncoma.edu.ar

² INTA Alto Valle, montenegro.ayelen@inta.gob.ar

Resumen Considerando la cantidad y diversidad en los datos que hoy día se relevan para futuros análisis, su combinación y uso se torna un elemento complejo a modelar. Es por esto que el agregado de semántica, a través de modelos conceptuales, es una tendencia actual en las arquitecturas para Sistemas Big Data. En ese sentido, en este artículo presentamos una caracterización de contexto de variables que influyen en la turbidez en los cuerpos de agua. Esa caracterización permite combinar datos relevantes del contexto de aplicación, lo que favorecería la identificación de situaciones recurrentes, incluyendo el tratamiento de esos datos durante el análisis. La propuesta se ejemplifica con un caso de estudio llevado a cabo en el área del Alto Valle del Río Negro.

Keywords: Sistemas Big Data, Calidad del Agua, Análisis de Turbidez

1. Introducción

Actualmente, la facilidad en la recolección y almacenamiento de los datos, junto con tecnologías e infraestructuras que permiten manipularlos, ha motivado la creación de sistemas intensivos en datos (Big Data) [1]. Un diseño que involucre estos sistemas en el dominio hidrológico debe comenzar con lo que se conoce como “uso designado” del cuerpo o cuerpos de agua bajo estudio³, que establece el tipo apropiado de estándar de calidad del agua, el cual va a tener distintos valores de parámetros seguros o permitidos. Por ejemplo, el estándar de un cuerpo de agua cuyo uso incluye actividades recreativas como nadar, debe asegurar que la exposición que tienen los humanos a patógenos microbianos en el agua sea segura.

La calidad del agua es medida por los cambios en parámetros químicos, ecológicos y espaciales, de los cuales además de estudiar sus valores, hay que

³ El uso designado es una descripción cualitativa de una condición deseada de un cuerpo de agua (uso para natación, para beber, para supervivencia de determinada fauna, etc.) [10].

ver sus interdependencias. Por ejemplo, la presencia de minas ha mostrado tener impacto sobre el pH del cuerpo de agua, la presencia y cantidad de industrias en la zona ha mostrado afectar los parámetros como el total de sólidos disueltos o la turbidez, etc.

La turbidez se define como una propiedad visual del agua, que indica su claridad (o la falta de ella) debido a partículas en suspensión que absorben y dispersan la luz en vez de transmitirla. Se expresa en Unidades de Turbidez Nefelométrica (NTU) y se mide en base a la cantidad de luz que atraviesa al cuerpo de agua. Existen múltiples causas que generan eventos de turbidez y, en ese sentido, el entorno o contexto ha sido analizado en diversos casos, con amplia variedad en los *cuerpos de agua* abordados así como en sus *usos*. Por ejemplo, dentro de los análisis sobre cuerpos dinámicos naturales, se encuentran los estudios en [4,16,17,18], los cuales analizan ríos, aguas subterráneas y arroyos. Los trabajos abordan *entornos* con épocas estacionales húmedas, donde se presentan lluvias fuertes y tifones que provocan el transporte por escorrentía-erosión de gran cantidad de sedimentos, como se describe en [4,17]; o en zonas húmedas ubicadas, por ejemplo, en el Reino Unido [7,16], donde el suelo se caracteriza por estar formado por tipos de rocas calizas, yeso y halita que se disuelven fácilmente con el agua. Por otra parte, el estudio en [11] se ubica en Sudáfrica y se caracteriza por ser en una región marítima costera semiárida con temperaturas templadas. Este entorno posee otros factores que influyen a la turbidez, entre ellos las mareas, el viento, la temperatura del agua superficial y los tipos de sedimentos del lecho. Finalmente, en [12] se menciona en detalle la composición del suelo, ya que este estudio se centra en analizar la turbidez por escorrentía.

El *análisis de turbidez* de estos trabajos muestra correlaciones diversas entre los factores que pueden influenciarla, como es el caso de lluvias estacionales [4,16,17]). También se detecta que los sólidos suspendidos totales (SST) son un gran determinante de la turbidez, lo que se puede observar en los estudios de [12,18]. En los trabajos en [17,18] se establece que la descarga o flujo del río es el determinante de la turbidez, junto a los SST y esto se debe a que ante el aumento de flujo, el río o cuerpo de agua lleva más partículas en suspensión y erosiona el lecho aumentando la concentración de sedimentos.

En un sentido similar a estos trabajos, nuestro estudio se centra en el análisis de variables relevantes a la predicción de la turbidez, a fin de considerar relaciones entre aspectos meteorológicos, calidad del agua, composición de suelos y usos. La motivación subyace en la detección de situaciones recurrentes que puedan modelarse a partir de la variedad en sistemas Big Data, a modo de líneas de productos software, como hemos propuesto en trabajos previos [13].

Este artículo se organiza de la siguiente manera. A continuación se introduce nuestra propuesta, en la forma de una taxonomía de caracterización de variables que influyen a la turbidez. Luego, la Sección 3, muestra la instanciación realizada y analiza relaciones posibles entre las variables. Finalmente, se abordan conclusiones y trabajos futuros.

2. Caracterización de variables en el análisis de turbidez

Para la construcción de una taxonomía, seguimos los pasos propuestos en [5], que consisten en identificar requerimientos y analizar la información existente a fin de elaborar taxonomías candidatas. En nuestro caso, las variables significativas en predicción de turbidez, analizadas a partir de los trabajos relacionados y del análisis del problema [2], se refieren a diversos elementos y fenómenos que pueden caracterizar el entorno. En la propuesta, cada tipo de variable se desagrega en sub-características, generando una estructura en forma de taxonomía (Figura 1) que se conforma por cuatro grandes categorías: (1) parámetros de calidad del agua; (2) características del cuerpo de agua; (3) usos designados del cuerpo de agua; y (4) características del entorno propiamente dicho. Cada categoría se divide en subcategorías, conformando una primer versión del modelo taxonómico, como se detalla a continuación.

Parámetros de Calidad del Agua [2]:

- **Oxígeno Disuelto (DO):** Es un factor determinante de la turbidez en ecosistemas acuáticos con mucha actividad orgánica. El DO es la concentración de oxígeno presente en el agua, que varía por múltiples procesos entre los cuales se encuentran el movimiento del agua, el intercambio de oxígeno con el entorno, la cantidad de flora y fauna activa, la materia orgánica en descomposición, etc.
- **Concentración de Sedimentos Suspendidos:** También conocido como Sedimentos Suspendidos Totales (SST), este factor se relaciona directamente con la turbidez porque afecta a la cantidad de luz que puede entrar al cuerpo de agua. Además se caracteriza por propiciar el transporte de químicos tóxicos que se adhieren a las partículas, siendo un factor que puede impactar de varias formas a la calidad del agua y cuyo deterioro también puede generar turbidez. Debido a que este factor determina la ocurrencia de turbidez y sus características, es que se lo utiliza normalmente para la predicción de la misma y se lo puede ver en [11,12,18].
- **Concentración de Nutrientes:** Este factor tiene la capacidad de influir sobre la turbidez medida, por que el exceso de nutrientes en el cuerpo de agua genera el aumento de flora en el mismo, pudiendo llevar a eventos de eutrofización, es decir, de exceso de producción del cuerpo de agua.

Cuerpo de Agua:

- **Tipo de Cuerpo de Agua:** Entre los tipos posibles se pueden encontrar embalses, lagos, lagunas, ríos, arroyos, aguas subterráneas, represas y bahías. Las características que distinguen esencialmente a cada tipo son el caudal de agua, el flujo, su ubicación en el continente (dentro o cerca del mar), la conexión con otros cuerpos de agua y el tipo de suelo en el que se encuentra. En los estudios se encontraron varios tipos de cuerpos de agua que se siguen la clasificación definida; por ejemplo, ríos en [4,15,17], sistema de distribución de agua en [7] y el tipo arroyo en [18]. Por otra parte, de los estáticos



Figura 1: Taxonomía de variables relevantes en el análisis de turbidez

se encontró el tipo represa en [8], bahía y laguna en [11] y lagos, ríos y cuerpos periglaciares en [15]. De los cuerpos estáticos se destacan las aguas subterráneas, que pertenecen al estudio en [16].

- **Afluentes:** La presencia de afluentes en un cuerpo de agua se relaciona con la turbidez, porque informalmente el cuerpo analizado hereda las características de los cuerpos aguas arriba. Esta característica se encuentra en [11], el cual analiza las mareas en la Bahía Saldanha para calcular el cizallamiento⁴ del lecho debido al movimiento del agua por mareas y corrientes de agua.
- **Mareas:** Esta característica sólo se da en cuerpos de agua con la suficiente masa como para ser influenciada por las fuerzas de gravedad que generan el sol y la luna; y ocurre principalmente en los océanos y en los cuerpos de agua relacionados a ellos. Se encuentra presente en [11].
- **Caudal de agua:** Esta propiedad se define como la cantidad de agua que circula por el cauce de un cuerpo de agua. El caudal se mide solamente en los ríos, ya que en los lagos se mide descenso de lámina y/o altura del agua⁵. Un claro ejemplo del efecto y la importancia de esta característica se encuentra en [17,18], donde se establece que la descarga o flujo del río es el determinante de la turbidez, junto a los sedimentos suspendidos.
- **Flujo:** Es el flujo de agua en un cuerpo hídrico y se puede encontrar como flujo laminar o turbulento. El primero es aquél en el que los diferentes flujos presentes en el cuerpo de agua se trasladan de forma paralela; en cambio, el flujo es turbulento cuando las aguas se mueven de forma errática interfiriendo unas con otras. Como se mencionó en el ítem anterior, este proceso se da en lagos o cuerpos estáticos, donde si se presentan corrientes lo suficientemente intensas pueden ser capaces de resuspender el lecho. También estas corrientes condicionan los eventos de turbidez, como es analizado en [11].
- **Composición del lecho:** Es el conjunto de tipos de partículas que conforman el lecho del cuerpo de agua analizado. A partir de las propiedades de las partículas, es posible conocer las características de los potenciales eventos de turbidez que se generen a partir de procesos físicos que afecten al lecho [10]. Por ejemplo, en [11] se analiza la composición del lecho para determinar el comportamiento de los sedimentos luego de ser suspendidos por la operación de dragado, detectando la velocidad de deposición/asentamiento, si son propensos a ser transportados y la turbidez que pueden generar.
- **Velocidad de deposición / asentamiento de partículas en suspensión:** Este factor determina principalmente la duración de un evento de turbidez, y como su nombre lo indica, se caracteriza por medir la velocidad con la cual las partículas en suspensión descienden hasta el lecho del cuerpo agua. Por ejemplo, en [11] se analiza este factor con el fin de determinar la carga de turbidez y si los factores ambientales (corrientes y marea) afectan a las plumas de turbidez generadas por las operaciones de dragado.

⁴ El cizallamiento del lecho es un parámetro hidráulico que determina el desgaste del lecho por la fricción del agua con él y es por ello que se lo utiliza para predecir el transporte de sedimentos en cuerpos de agua.

⁵ La lámina evapotranspirada suele ser utilizada también para indicar las salidas en relación a la cantidad de agua del cuerpo.

Usos del agua:

- **Agua potable de uso urbano:** Este uso ocurre cerca de las ciudades donde se construyen plantas de tratamiento, las cuales toman agua de algún cuerpo de agua cercano y la someten al proceso de potabilización. Para potabilizar el agua se necesita un coagulante⁶, el cual en dosis insuficientes no permite la remoción óptima de partículas, y en cambio, en dosis altas desestabiliza el compuesto haciendo que las mismas vuelvan a dispersarse en el agua incrementando su turbidez. Por ejemplo, en los estudios de [6,8] se establece el problema de optimización del coagulante y se busca predecir la turbidez del agua tratada en base a este y otros parámetros específicos a cada estudio.
- **Riego de Cultivos:** La presencia excesiva de nutrientes desencadena el aumento de la flora presente en un cuerpo de agua, dando lugar a posibles eventos de turbidez. En este caso, el uso para riego de cultivos, que se da principalmente en zonas agrícolas, es uno de los principales causantes del aumento de los nutrientes en el cuerpo de agua.
- **Heredados:** Los usos heredados son aquellos que se realizan en aguas comunicadas (generalmente aguas arriba) con el cuerpo de agua analizado. De esta manera, el resultado de las actividades tiene la posibilidad de generar eventos de turbidez en el sitio analizado. Por ejemplo, en el caso de un río si se registra que aguas arriba se está desarrollando una obra de construcción en la cuenca, es muy probable que las partículas lleguen al cuerpo analizado y según sus características desarrolle un evento de turbidez.
- **Navegabilidad:** Este factor depende de los procesos de movimiento del lecho generado por el movimiento de vehículos acuáticos, los cuales tienen la posibilidad de suspender el lecho si las condiciones lo permiten. Para este análisis se debe tener en cuenta la composición de la cuenca, el tipo de transporte que circula, la velocidad de asentamiento/deposición de las partículas y los procesos de advección del agua. Por ejemplo, en [11], se analiza el movimiento del lecho generado por los barcos que se mueven en la Bahía.
- **Desechos de residuos:** Este uso, como su nombre lo indica es la presencia de desechos en el cuerpo de agua. Estos desechos pueden provenir de diferentes actividades antrópicas, ya sean de origen urbano, industrial y/o agrícola, las cuales pueden opacar el agua ya sea cambiando su color con líquidos o con partículas sólidas y con ello generar agua turbia. Este caso, se menciona en [18].

Entorno - Naturales:

- **Lluvias:** Las lluvias tienen mayor influencia sobre la turbidez en zonas húmedas que poseen lluvias estacionales durante el año. La influencia se debe a

⁶ Químico que agrupa las partículas suspendidas en el agua y permite su posterior remoción

que el agua que precipita sobre la cuenca se escurre por el suelo hasta llegar a los cuerpos de agua, en un proceso llamado escorrentía-erosión. Diversos estudios utilizan el nivel de lluvias para predecir la turbidez, por ejemplo [4,16,17,18].

- **Composición del suelo de la cuenca:** Este factor está estrechamente relacionado con el de SST, ya que la composición del suelo determina las características de los eventos de turbidez que se puedan desarrollar por el depósito de estas partículas en el cuerpo de agua. A partir de analizar la composición del suelo se puede determinar la intensidad del evento de turbidez, es decir, cuánta luz es obstruida (dispersada) por las partículas en suspensión. Esta característica es considerada en [12].
- **Erosión:** Este factor se debe a que la erosión natural del lecho del cuerpo de agua y del suelo de la cuenca, aportan gran cantidad de sedimentos, que dan la posibilidad a eventos de turbidez. Las principales causas de erosión son las lluvias y el flujo del agua. Esto se debe a que el agua erosiona el suelo a medida que se escurre por él y los transporta hasta el cuerpo de agua. Para analizar este factor es importante conocer la composición del suelo, la cantidad de lluvias y si son estacionales o no, la velocidad del flujo, la geografía de la cuenca, etc.
- **Movimientos Sísmicos:** Este fenómeno es capaz de producir turbidez si se desarrolla cerca de un cuerpo de agua. Debido a las vibraciones del suelo se pueden desprender sedimentos del lecho del cuerpo de agua o descargar partículas de la cuenca en él.
- **Vientos:** Los vientos son los encargados de controlar las corrientes de agua en los lagos, los cuales no poseen mareas. De esta manera, si se analiza un entorno ventoso se debe analizar cómo afecta al cuerpo de agua y en última instancia si aporta partículas al cuerpo de agua (por ejemplo sedimentos o semillas que puedan reproducirse en él). Esta característica se encuentra en [11].
- **Temperatura ambiente:** De manera similar al caso anterior, la temperatura afecta a la aridez de los suelos circundantes al cuerpo de agua; a la vez que influye en la evaporación de los mismos. Esas condiciones pueden derivar en la posibilidad de mayor turbidez (por la concentración de partículas en el agua y/o la mayor generación de las mismas por efectos del viento).

Entorno - Artificiales: Entre estos factores se encuentran aquellas actividades que tienen incidencia sobre un cuerpo de agua cercano y que pueden afectar la turbidez mediada en él.

- **Urbanización:** Las zonas urbanas poseen sitios de construcción, rutas de transporte, actividades recreativas, etc. En este factor se debe tener en cuenta el accionar humano, ya que aunque la ciudad no arroje residuos en el cuerpo de agua, éste puede ser contaminado por los propios ciudadanos y sus actividades cotidianas.
- **Agricultura (eutrofización):** Este factor es un sinónimo del uso de riego de cultivos, con la diferencia de que en esta categoría no necesariamente

las aguas residuales de la agricultura se descargan en el cuerpo de agua analizado. Es decir, si se encuentra una zona agrícola cerca de un cuerpo de agua, es posible que éste reciba un incremento de nutrientes o el depósito de químicos tóxicos por la escorrentía o el drenaje de los suelos, el riego desde aviones, etc.

- **Zonas industriales:** Como se sabe, las industrias generan diversos químicos tóxicos que deterioran la calidad del agua, por lo tanto, es muy probable que un cuerpo cercano desarrolle eventos de turbidez directamente por las propiedades físicas (por ejemplo su color o transparencia) de los contaminantes, o por el deterioro del ecosistema en el cuerpo de agua.
- **Sitios de Construcción:** Este factor agrupa las actividades de construcción que se desarrollan cerca de los cuerpos de agua y cuyos residuos los alcanzan. Los sitios de construcción influyen sobre la turbidez con el aporte de partículas generadas por los mismos. Esta característica fue considerada en [12].
- **Modificación de cuerpos de agua:** Las modificaciones artificiales de cuerpos de agua consisten en aquellas obras de construcción que se desarrollan en el cuerpo de agua. En este factor se incluyen desvíos del cauce del río, construcción de embalses, represas, plantas de tratamiento, etc. Esta característica fue considerada en [11].

3. Instanciación de la taxonomía: Análisis de turbidez en el Canal Principal de Riego del Alto Valle

El área de estudio se centra en la Provincia de Río Negro, Argentina; particularmente en el Sistema de Riego del Alto Valle del Río Negro, con una cobertura de 64.522 ha. El problema a analizar, donde la medición y predicción de turbidez son esenciales, se refiere al crecimiento de vegetación acuática que se produce por la presencia de aguas claras. Si este problema no se trata o se demora en hacerlo, el CPRAV puede rebalsar y con ello aumentar su riesgo de rotura.

A partir de nuestra propuesta, los cuatro grupos de variables de la taxonomía (Figura 1), fueron instanciados de la siguiente manera.

Calidad del agua. Se dispone de mediciones publicadas en [3,9], donde se relevan parámetros de calidad junto con otros datos relacionados con 6 diferentes especies de malezas encontradas en el CPRAV. Sobre calidad del agua se relevan datos de temperatura del agua, Acidez (pH), Conductividad Eléctrica (CE), Oxígeno Disuelto (OD) (concentrado y porcentual), Turbidez, Caudal, Fósforo Total (PT), Nitrógeno (Total - NT y Orgánico Total - NOT) y datos Bacteriológicos (Coli. Totales y E. Coli), tomados en 6 sitios del recorrido del CPRAV.

Cuerpo de agua. El canal principal – foco de nuestro análisis – es de tipo telescópico, por lo tanto, a medida que se originan los canales secundarios se va reduciendo su sección progresivamente y cuenta con taludes de 1:1.5 y velocidades que varían entre 0.87 y 0.47 m/seg. El lecho del canal es de tierra compactada

y ha recibido tratamientos o revestimientos de distintas características por sectores, los cuales son mayormente revestimientos de hormigón y se desarrollan en coincidencia de su traza con las urbanizaciones a lo largo del valle.

Usos del agua. Éstos son variados y se encuentra que algunas actividades también afectan la calidad aguas abajo. El uso principal se denomina *agua de uso agrícola* y se define como aquella utilizada en los cultivos por razones agronómicas, como riego, prevención de heladas, aplicación de agroquímicos (fertilizantes, fitosanitarios), enfriamiento precosecha, lavado de equipos, entre otros. El siguiente uso es el de *potabilizar el agua para consumo urbano* en las ciudades de Cinco Saltos, Cipolletti, Fernández Oro, Allen y General Roca. El último uso registrado es el de *generación de energía*, el cual se realiza en tres centrales hidroeléctricas.

Entorno. Se dispone de mediciones de diferentes estaciones meteorológicas que se distribuyen a lo largo de la extensión del CPRAV. Los datos relevados incluyen Temperatura, Lluvias, Vientos, Humedad Relativa, Radiación, etc. También se dispone de datos georeferenciados (Figura 2) sobre las características de los suelos de la cuenca del CPRAV y los usos de esos suelos. En cuanto a las características, se conoce su Geomorfología, Permeabilidad, Drenaje, Clase de Suelo, Espesor, etc. Los datos de usos de los suelos de siete sitios del CPRAV se encuentran relevados en [3], donde cada sitio fue analizado con un alcance de 2 km a la redonda⁷. Los tipos de usos encontrados fueron: Cuerpo de Agua Superficial (CAS), Vegetación Natural de Ribera (VNR), Vegetación Natural (VN), Pastura (P), Suelo Desnudo (SD), Urbanización (U), Abandonado (A), Vegetación Natural de Monte (VNM) y Frutales (F).

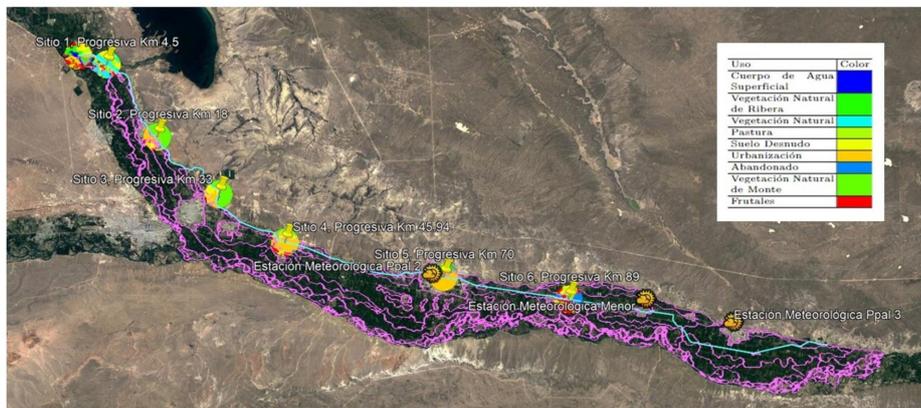


Figura 2: Suelos y usos a lo largo del CPRAV

⁷ El mapa fue dividido en polígonos determinando el área y perímetro de cada uno de ellos.

3.1. Preparación de los datos

Los datos se encontraban en archivos de diversos formatos estructurados en tablas. El preprocesamiento involucró una exhaustiva tarea de limpieza, incluyendo selección de variables relevantes, tratamiento de datos nulos, transformación de formatos, etc. Por ejemplo, del *viento*, una de las variables meteorológicas, se descartaron mediciones a más de 2 metros de altura, ya que tendrían baja incidencia en el transporte de partículas al cuerpo de agua; en las variables del *suelo* se priorizaron aquellas que determinan los elementos que lo componen y los factores que pueden aportar partículas al cuerpo de agua, manteniendo variables como *geomorfología*, *permeabilidad*, *drenaje*, *clase de suelo y espesor*; y para los datos de *usos del suelo* se calculó el área total cubierta por cada uso en cada sitio, junto a su proporción respecto al área total. A modo de ejemplo, describimos en mayor detalle este último caso.

Preprocesamiento de los datos para análisis de Usos de Suelos. En primer lugar, se realizaron procedimientos de conversión de formato, ya que el almacenamiento original en *Shapefile* (SHP), debió transformarse a formato CSV (Comma-Separated Values), con una versión intermedia en KML (Keyhole Markup Language). Luego, mediante la herramienta Open Refine⁸ se procedió a la limpieza de los datos, para unificar vocabulario principalmente.

Como se mencionó, este conjunto de datos proviene de un archivo SHP, cuyos polígonos se pueden ver en la Figura 2. Ya que el archivo resultante de la conversión sólo tiene las columnas ‘*uso*’ y ‘*sitio*’, para calcular el perímetro y área de cada uso, se utilizó la herramienta KML Area & Length⁹, generando un CSV donde el índice de las filas respeta el índice del polígono en el conjunto original. De esta manera, durante el uso de la herramienta Open Refine, se realizó la unión entre este conjunto y el conjunto de usos que se limpió anteriormente, generando así el archivo base para este trabajo.

Finalmente, se creó un script de Python que realiza una función de agregación sobre los usos de cada sitio¹⁰. Se hizo este cálculo porque existen casos donde un mismo uso tiene más de un polígono asociado en el mismo sitio y se requiere saber el área total del uso en ese sitio. Un ejemplo se puede ver en la Figura 3, en la cual el uso ‘Frutales’ o el uso ‘Suelo Desnudo’ se repite más de una vez en polígonos no adyacentes.

3.2. Análisis de variables en el CPRAV

Luego de preparar cada conjunto de datos, se realizó el siguiente procesamiento, considerando la cantidad de muestras del caso de estudio que correspondían a un conjunto de datos escasos (*small data set*): (1) análisis de correlación de funciones no lineales con Spearman y Kendall [14], buscando identificar relaciones

⁸ <https://openrefine.org>

⁹ <http://www.zonums.com/online/kmlArea/>

¹⁰ Para cada sitio, se agrupan los usos y se calcula el área total de cada uso y su proporción respecto al área total observada

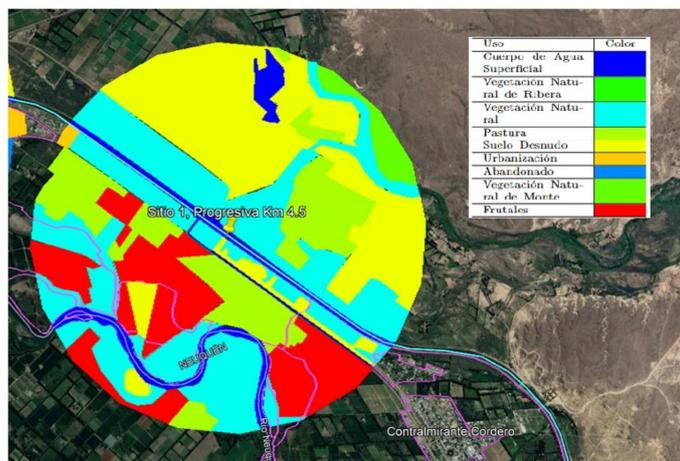


Figura 3: Usos de Suelo - Sitio 1

en los datos, y a partir de los estudios previos, determinar cuáles serían variables predictoras de las condiciones de crecimiento de malezas; (2) agrupamiento de los diferentes sitios en base a la similitud de las correlaciones encontradas, de acuerdo a los parámetros en la Figura 1; (3) agrupamiento mediante algoritmos de clustering para validar o ajustar los grupos anteriores; y (4) creación de un modelo de predicción ajustado por sitio para predecir la turbidez.

Las relaciones entre ellos en conjunto mostraron un sesgo por las mediciones realizadas, que resultaron influenciadas por las pocas muestras tomadas por año [3]. Sin embargo, un primer análisis reveló conclusiones que dan soporte a relaciones similares a las mencionadas por otros estudios; por ejemplo, la relaciones entre precipitaciones y turbidez (Figura 4) muestran un movimiento creciente/decreciente en turbidez acompañando aumento/disminución en las precipitaciones.

En otras relaciones entre turbidez y el entorno, en la Figura 5 podemos ver que la clase textural del Sitio 1 indica una composición gruesa, entre franco-limosa y franca. Esta textura hace que el material decante rápidamente, por lo que la turbidez tiende a bajar en menor tiempo. El Sitio 2 posee características de suelos similares; sin embargo, respecto a los usos del suelo, el Sitio 1 es un área natural no urbanizada, mientras que el Sitio 2 muestra una urbanización del 32%. El análisis revela que el descenso de la turbidez en el Sitio 1 se prolonga más en el tiempo que en el Sitio 2, lo que indica que la zona no urbanizada sostuvo la turbidez por más tiempo.

En el mismo tipo de análisis, detectamos que la composición de suelos de los Sitios 3 y 5 es de un material más fino, entre arcilloso y arcilloso-limoso; pero difieren en el uso, siendo el Sitio 3 el que presenta la menor urbanización (21%) respecto al Sitio 5 (86%). Si bien las clases texturales de ambos sitios son similares y ambas son finas, en el Sitio 3 se observa una fluctuación de turbidez

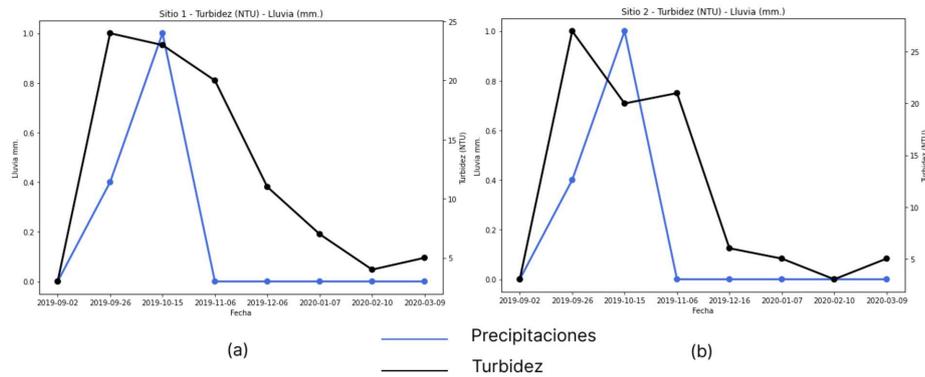


Figura 4: Relaciones turbidez-lluvia (Sitio 1 (a) Sitio 2 (b))

sostenida en el tiempo y en cambio en el Sitio 5 disminuye rápidamente. Estas variaciones podrían indicar que la superficie urbanizada/no urbanizada afecta los valores de turbidez observados, y por ello es un punto a considerar para mayores análisis (ej. usos urbanos específicos).

4. Conclusiones y Trabajo Futuro

El análisis de datos es una herramienta fundamental en la toma de decisiones de cualquier organización, entre las que se cuentan aquellas con responsabilidades sobre el medio ambiente. En este artículo, introducimos la noción de análisis de datos basado en el contexto o entorno, como un mecanismo que facilite el tratamiento de variables, en este caso para el análisis de turbidez en cuerpos de agua. El caso de estudio, aunque con datos escasos, enfoca en la viabilidad de la propuesta. Sin embargo, se necesita aún mayor experimentación. En ese sentido, actualmente INTA Alto Valle se encuentra diseñando una nueva campaña para relevamiento de datos, que será dirigida por los factores detallados en nuestra taxonomía. El objetivo es el análisis de las relaciones entre las variables combinadas, identificando casos con características similares y disímiles, que puedan contribuir en el modelado de la variedad.

Referencias

1. Bahga, A., Madiseti, V.: Big Data science and () analytics: A Hands-On Approach. Johns Creek, GA: Arshdeep Bahga Vijay Madiseti, USA (2018)
2. van Beek, D.P.L.E.: Water Resource Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models, and Applications. Springer (2017)
3. Boltshauser, V., Colodner, A., Mañueco, L., Montenegro, A., Mrozek, M., Romero, M.J.: Calidad del agua de uso Agrícola en el Alto valle de Río Negro y Neuquén. Tech. rep., GlobalG.A.P, INTA, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2021)

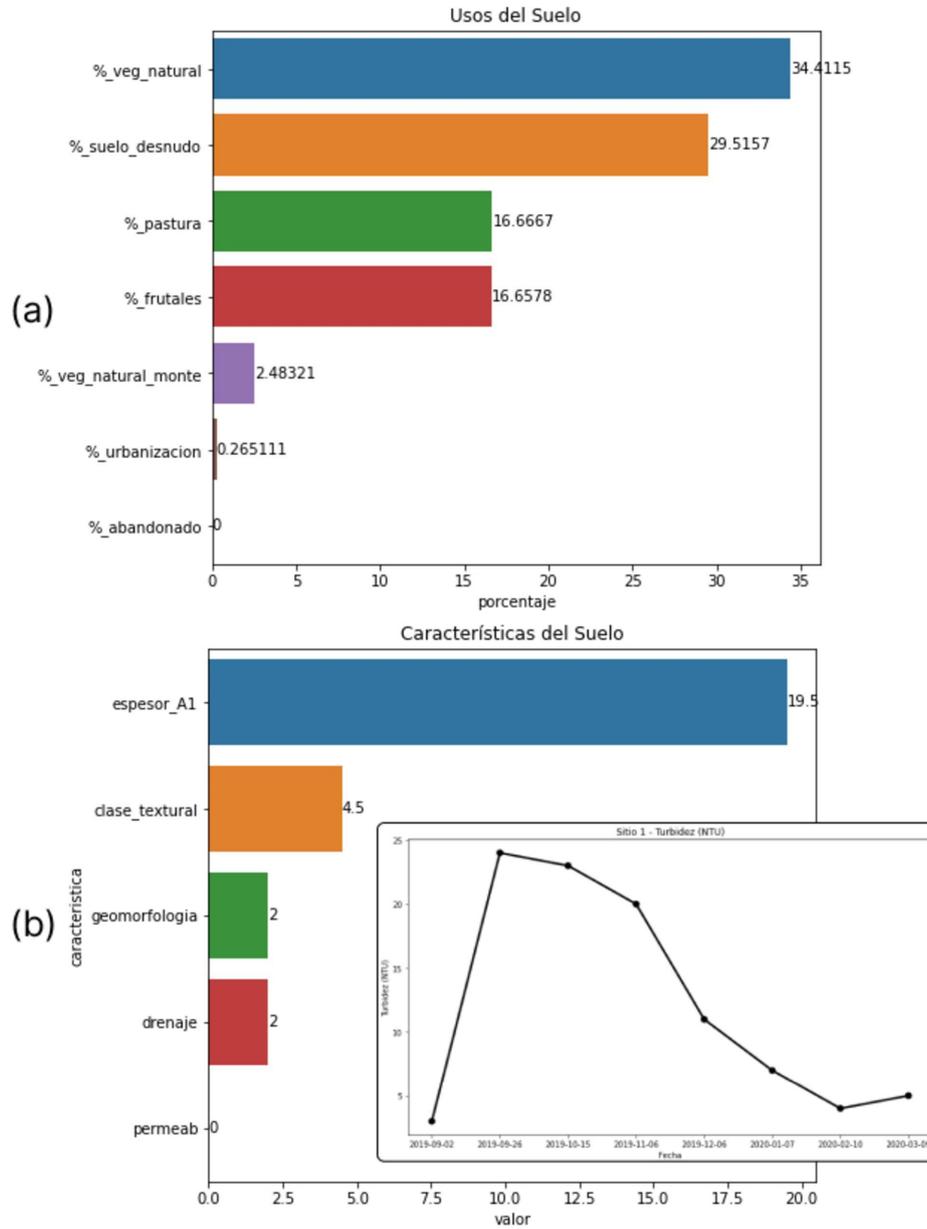


Figura 5: Usos del suelo (a) - Turbidez-Clase de suelo (b) del Sitio 1

4. Chia-Ling, C., Chung-Sheng, L.: Parameter sensitivity analysis of artificial neural network for predicting water turbidity. *International Journal of Geological and Environmental Engineering* **6**, 10 (2012)
5. Choksy, C.: 8 steps to develop a taxonomy. *Information Management Journal* pp. 30–41 (2006)
6. Jayaweera, D., Aziz, N.: Prediction of treated water turbidity and its parametric behavior for the coagulation process of a water treatment plant using a joint extreme learning machine-genetic algorithm. In: *Proceedings of the IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. vol. 991. IOP Publishing (2020)
7. Kazemi, E., Mounce, S., Husband, S., Boxall, J.: Predicting turbidity in water distribution trunk mains using nonlinear autoregressive exogenous artificial neural networks. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Hydroinformatics*. pp. 1030–1039. International Water Association (2018)
8. Krishnaiah, D., Kumaresan, S., Matthew, I., Rosalam, S.: Prediction of clarified water turbidity of moyog water treatment plant using artificial neural network. *Journal of Applied Sciences* **7**, 2006–2010 (2007)
9. Labollita, H. and Sorá, G., Vettori, O., Mañueco, M., Bernardis, A., Othaz Brida, A., G., R., A., C., Kamerbeek, E., Merino Tosoni, A., Storti, C., Deguele, P., Gittins, C., Sheridan, M., Montenegro, A., Guiñazu, M., Barrionuevo, M., Navarro, C.: Informe de temporada de riego 2019-2020 - Canal Principal Alto Valle: Variaciones de turbiedad y su relación con el crecimiento de vegetación acuática. Tech. rep., AIC, DPA, INTA, UNComa (2020)
10. Loucks, D.P., van Beek, E.: *Water Resource Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models, and Applications*. Springer (2017)
11. Luger, S., Schoonees, J., Mocke, G., Smit, F.: Predicting and evaluating turbidity caused by dredging in the environmentally sensitive saldanha bay. In: *Proceedings of the 26th International Conference on Coastal Engineering*. American Society of Civil Engineers (1998), <https://doi.org/10.1061/9780784404119.271>
12. Neupane, S., Vogel, J., Storm, D.: Development of a turbidity prediction methodology for runoff-erosion models. *Water, Air, and Soil Pollution* **226**, 415 (2015)
13. Osycka, L., Buccella, A., Cechich, A.: Data variety modeling: A case of contextual diversity identification from a bottom-up perspective. In: *Computer Science – CACIC 2021*. pp. 124–138. Springer International Publishing (2022)
14. Peck, R., Olsen, C., Devore, J.: *Introduction to Statistics and Data Analysis - Third Edition*. Thomson, USA (2008)
15. Saylam, K., Brown, R., Hupp, J.: Assessment of depth and turbidity with airborne lidar bathymetry and multiband satellite imagery in shallow water bodies of the alaskan north slope. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **58**, 191–200 (2017)
16. Stevenson, M., Bravo, C.: Advanced turbidity prediction for operational water supply planning. *Decision Support Systems* **119**, 72–84 (2019)
17. Tsai, T., Yen, P.: Gmdh algorithms applied to turbidity forecasting. *Applied Water Science* **7**, 1151–1160 (2017)
18. Zounemat-Kermani, M., Alizamir, M., Fadaee, M., Namboothiri, A.S., Shiri, J.: Online sequential extreme learning machine in river water quality (turbidity) prediction: a comparative study on different data mining approaches. *Water and Environment Journal* (2020), <https://doi.org/10.1111/werj.12630>