



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN / INNOVACIÓN PARA LA FISCALIZACIÓN AMBIENTAL

Aplicación del método Grey Clustering y la entropía de Shannon como una alternativa para evaluar la calidad del agua en los cuerpos receptores ubicados en el ámbito de la cuenca del río Rímac

INTEGRANTES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ESPECIALIDAD Y CARRERA
Villanueva Saire Jesus Daniel	Derecho
Lucana Muñoz Naomi	Ciencias - Ingeniería Geológica
Jesus Murriagui Grace Melissa	Economía
Trejo Sánchez Gerson Silver	Ciencias-Ingeniería Ambiental
Ayamamani Calle Daniela Sandra	Derecho

NOMBRE DEL ASESOR: MBA. Ing. Luis Angel Ancco Pichuilla

Febrero de 2021

Tabla de contenido

1. Justificación de la investigación.	3
2. Antecedentes y conceptos básicos	4
3. Preguntas, objetivos e hipótesis de la investigación	11
4. Fuentes de información	12
5. Metodología de la investigación	16
6. Bibliografía	20
7. ANEXOS	1

1. Justificación de la investigación.

La evaluación de la calidad del agua es un tema de interés mundial por la importancia sociocultural, ambiental y económica de este recurso. No obstante, en los últimos años, esta calidad se está deteriorando por un manejo inadecuado en la conservación, disposición y uso del agua por parte de las autoridades competentes, las entidades estatales privadas y la propia población (Delgado, Cuadra, et al., 2021). Al respecto, es preciso señalar que la evaluación de la calidad de las aguas superficiales es un tema complejo, ya que implica el análisis integral de varios parámetros que se ven alterados por causas naturales o antropogénicas, en el que se presentan algunos errores que pueden considerarse como incertidumbre (Delgado et al., 2020).

El Perú no es ajeno a este problema en la gestión de sus recursos hídricos, por lo que, recientemente, la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua propuso el Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS), cuyo objeto era establecer mejoras en la anterior metodología para la evaluación de la calidad del agua denominada "ICA-PE", aprobada mediante Resolución Jefatural N°068-2018-ANA, toda vez que se advirtió que esta última agrupaba de manera integral parámetros que no permitían evidenciar la afectación real al cuerpo de agua por punto de muestreo. Así, en el año 2020, mediante Resolución Jefatural N°084-2020-ANA, se aprobó la propuesta de metodología ICARHS, que actualizaba la metodología ICA-PE enfatizando determinados parámetros, compilando y representando gráficamente grandes cantidades de datos correspondientes a los resultados de los monitoreos de la calidad de agua realizados por la Autoridad Nacional del Agua. Esta nueva metodología permitiría una calificación simple y comprensible del estado de calidad de los cuerpos naturales del agua (Resolución Jefatural N°084-2020-ANA). Al respecto, esta situación evidencia que la metodología empleada para evaluar la calidad de los cuerpos de agua es susceptible de sufrir mejoras en aras de reducir el nivel de incertidumbre y mejorar la gestión de los recursos hídricos.

Justamente es en este proceso de mejora continua en el análisis de la calidad ambiental del agua que se plantea emplear como nueva alternativa el método Grey Clustering y la entropía de Shannon para analizar la calidad de los cuerpos de agua para consumo humano en el ámbito de la cuenca del río Rímac, pertenecientes a la categoría 1 en el marco de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA agua) regulados en el DS N°004-2017-MINAM. Al respecto, este planteamiento le permitiría a la Administración contar con una nueva opción metodológica para analizar la calidad de los cuerpos de agua mencionados y similares, lo que derivaría en la optimización de la gestión de recursos hídricos para el consumo humano al contar, la Administración, con mayores herramientas de evaluación ambiental, cada una con sus propias ventajas y desventajas ante determinadas situaciones.

En este sentido, el método Grey Clustering, basado en la teoría de Grey Systems y Shannon Entropy, brinda una alternativa para evaluar la calidad del agua de manera integral considerando la incertidumbre dentro del análisis (Delgado et al., 2020). Es decir, este método innovador permite dotar, objetivamente, de pesos a los parámetros actualmente establecidos los ECA para agua en el análisis de los cuerpos de agua gracias

al enfoque de la fórmula de Shannon, lo cual permite reducir el margen de incertidumbre en estos procesos.

2. Antecedentes y conceptos básicos

Antecedentes

En Perú

Mediante la aplicación de la lógica difusa con la metodología Grey Clustering, Delgado, Fernández, et al., (2021), evaluaron la calidad de agua en los ríos Yauli y Andaychagua, de Junín a través del método Grey Clustering considerando los parámetros en los ECA para agua de categoría 3, riego de vegetales y bebida de animales, así como otros estándares internacionales, contrarrestados con análisis estadístico para el año 2019. En el estudio se determinó que, si bien en ambos ríos hay una alteración de sus aguas, los resultados con el método grey clustering muestran que el río no se ve drásticamente afectado por el efluente minero industrial. Se concluyó que la metodología Grey Clustering ayuda a evaluar la calidad del agua de manera objetiva, basada en pesos sobre los parámetros que se evalúan, y que esta propuesta, puede llevarse a cabo tomando un mayor número de puntos de monitoreos que muestran los resultados con mayor detalle, verificando el impacto que la actividad minera causa no solo en los ríos, sino también en las lagunas e, incluso, en la evaluación de sedimentos. Este estudio nos servirá para tener en cuenta su aplicación para el caso de ECA para agua de categoría 3

Delgado, et al. (2021), determinaron la calidad de las aguas superficiales del conjunto de lagunas en el área de estudio del proyecto minero El Padrino, en Áncash, y expresaron los resultados como expresión lingüística a través del método Grey Clustering comparando datos de seguimiento a través del índice de Prati. La metodología de Grey Clustering basada en el sistema de lógica difusa permitió la expresión lingüística a partir de variables numéricas, lo que facilita la comunicación de los resultados. En ese sentido el proyecto minero, se encuentra en proceso de evaluación como parte del estudio de línea base que ha realizado el monitoreo de la calidad del agua superficial en las lagunas del área de estudio y se consideraron 10 puntos de muestreo con 5 parámetros; pH, NH₂, Mn, Fe y DBO₅. Los valores obtenidos para los coeficientes de clasificación expresan la calidad del agua de las lagunas como excelente, aceptable y levemente contaminada. La información obtenida será de utilidad para la comunicación de los resultados de monitoreos a los habitantes del área de estudio. De esta manera, por el enfoque investigativo, este estudio será de interés tanto para el desarrollo de futuras investigaciones en ingeniería ambiental como en lingüística. Este estudio nos servirá para entender su aplicación a través de otros índices en el caso de estudio minero.

Delgado, Cuadra, et al. (2021), mencionaron que la evaluación de la calidad del agua es un tema de interés mundial por su importancia sociocultural, ambiental y económica, pero en los últimos años esta calidad se está deteriorando por un manejo inadecuado en la conservación, disposición y uso del agua por parte de las autoridades competentes, las entidades estatales privadas y la propia población. Una alternativa para determinar la calidad de un cuerpo de agua de manera integrada es el método de Grey Clustering, el cual se utilizó en este estudio tomando como indicador el Índice de Calidad de

Prati. El caso de estudio es la cuenca baja del río Huallaga, ubicada entre la región de Loreto y San Martín, a lo largo de la cual se establecieron 12 estaciones de monitoreo para evaluar la calidad de sus aguas superficiales, mediante el análisis de 7 parámetros: pH, DBO5, DQO, Sólidos Totales Suspendidos (TSS), Nitrógeno Amoníaco, Sustratos y Nitratos. Donde se determinó que la calidad del agua de once estaciones de monitoreo de la cuenca del bajo Huallaga se encuentra dentro de la categoría "No contaminadas", mientras que una estación de monitoreo se encuentra dentro de la categoría "Altamente Contaminada" del Índice Prati, esto por su cercanía a un vertedero. Los resultados obtenidos en este estudio podrían ser de utilidad para las autoridades responsables de la protección y conservación sostenible de la Cuenca del Río Huallaga, con el fin de proponer medidas adecuadas para mejorar su calidad. Adicionalmente, este estudio podría ser una referencia para futuros estudios ya que el método propuesto permitió priorizar el nivel de calidad de los cuerpos de agua e identificar áreas críticas.

Delgado et al. (2020), mencionaron que la evaluación de la calidad de las aguas superficiales es un tema complejo que implica el análisis integral de varios parámetros que son alterados por causas naturales o provocadas por el hombre. Para ello usaron el método Grey Clustering y la entropía de Shannon como alternativa para evaluar la calidad del agua de forma integral considerando la incertidumbre dentro del análisis. Este se evalúa en la cuenca alta del río Huallaga tomando en cuenta los resultados del monitoreo de 21 puntos realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) por medio de 9 parámetros del índice de Prati. Los resultados mostraron que todos los puntos de monitoreo del río Huallaga fueron clasificados como no contaminados, lo que significa que los vertidos, generados por actividades económicas, se realizan a través de plantas de tratamiento que cumplen con los parámetros de calidad. Finalmente, los resultados obtenidos pueden ser de gran ayuda para la ANA, y las autoridades regionales y locales del Perú en la toma de decisiones para mejorar la conservación de la cuenca del río Huallaga. Este estudio nos servirá para como referente de la aplicación complementaria de la entropía de Shannon.

Delgado, Vriclizar, et al. (2017b), señalaron que se analizó la calidad del agua del río Santa de acuerdo con los parámetros establecidos por el MINAM-Perú (DS No 015-2015). En ese sentido, 21 puntos de monitoreo de la cuenca del río Santa fueron analizados. Se concluyó que el método Grey Clustering evidenció resultados interesantes y que podría ser aplicado a otros estudios sobre la calidad del agua o del medio ambiente en general. Al respecto, los resultados mostraron que el 47.6% de los puntos de monitoreo presentaban una calidad buena de agua para el consumo humano, que podría ser purificada aplicando una desinfección; el 33.3% de los puntos de monitoreo presentaron una calidad moderada de agua para el consumo humano, que podría ser purificada con un tratamiento convencional; y el 19.1% de los puntos de monitoreo presentaron una calidad baja de agua para el consumo humano, que podría ser purificada aplicando un tratamiento especial. Los resultados obtenidos en este estudio podrían ayudar al gobierno central o las autoridades locales del Perú a tomar la mejor decisión sobre el manejo de la cuenca y además no serviría para tener en cuenta su aplicación en base a los ECA para agua, categoría 1.

Delgado, Aguirre, et al. (2017), determinaron la calidad de cinco cuerpos de agua de la Cuenca del Río Rímac de categoría 1: A2 mediante el análisis de datos que la Autoridad Nacional del Agua (ANA) proporcionó en su informe técnico de monitoreo de la calidad del agua en la cuenca del río Rímac en el año 2013. Para tales efectos, se empleó la

metodología del Análisis de Grey Clustering y el índice de la calidad de agua de Prati. Al respecto, los resultados mostraron que los cinco cuerpos de agua estudiados no se encontraban contaminados lo que significa que estos deben ser tratados por métodos convencionales para ser purificados. Sin embargo, el afluente río Blanco era más vulnerable a la contaminación. Finalmente, los resultados de este estudio podrían ser utilizados por las autoridades locales o el gobierno central para tomar la mejor decisión sobre el manejo de la cuenca del río Rímac y además nos serviría como referente para nuestro caso de estudio.

En Latinoamérica

Torres & Paredes, (2018), mencionaron que actualmente los humedales son amenazados por muchos factores derivados del exceso de nutrientes provenientes de actividades agrícolas provocando la destrucción del ecosistema a través del proceso de eutrofización. Este estudio indica que una metodología para clasificar humedales por nivel de eutrofización es necesaria ya que las metodologías actuales usan índices específicos por nutrientes que no consideran su interacción. El Método Grey Clustering permite el uso de diferentes estándares e incluye la interacción donde los datos son insuficientes o hay una gran incertidumbre en estos. Se evaluaron seis humedales colombianos: Tibanica, Capellanía, De Techo, La Vaca, La Conejera y Fúquene haciendo el uso del método Grey Clustering con dos estándares, internacional y chino, y dos parámetros, fósforo total y nitrógeno total. Al hacer uso de ambos estándares la laguna Fúquene se clasificó como eutrófica mientras que los demás clasificaron como eutróficos bajo el estándar internacional e hipertróficos con el estándar chino. El análisis de orden mostró que Tibanica, Capellanía, De Techo, La Vaca y La Conejera son más eutróficos que la Laguna de Fúquene utilizando el estándar internacional. Este trabajo nos permitió relacionar el método Grey Clustering en función a otras normativas y estándares internacionales para poder determinar el nivel de eutrofización. Extrapolando la idea a nuestro estudio para la evaluación de la calidad de agua, haciendo uso del ECA Agua para consumo Humano.

Delgado et al., (2020) indicaron que la actividad minera impacta el medio ambiente en todos sus factores; por tanto, es importante caracterizar el agua y clasificarla para tomar las medidas necesarias para su conservación y tratamiento. En este estudio aplicaron el método Grey Clustering en Taxco, México, zona donde se produjo una fuga de residuos hacia el río. El objetivo del trabajo era clasificar la calidad de agua utilizando el método Grey Clustering en determinadas muestras tomadas en cuatro puntos de monitoreo y analizar los resultados. La clasificación de la calidad de agua se realizó haciendo uso de la normativa peruana para enfatizar la complejidad del tratamiento de agua; el uso del método grey clustering se combinó con el método de entropía, proporcionando una herramienta eficaz para toma de decisiones en presencia de datos limitados y apertura la oportunidad de desarrollar esta metodología en un país donde la disponibilidad de información puede ser escasa. Debido a la fuga, los puntos de control donde se obtuvieron las muestras 1, 2 y 3 tenían un mayor nivel de contaminación, esos puntos se clasificaron como categoría A3 (agua que es purificada por tratamiento avanzado). Sin embargo, se detectó que la muestra 4 presentaba una buena calidad de agua lo que significa que podría purificarse mediante desinfección. Este estudio nos servirá de guía ya que hace uso de la normativa peruana, al igual que en nuestro trabajo de investigación; además, nos permitirá analizar la calidad de agua y determinar responsabilidad a los administrados presentes en la zona de estudio.

Gutiérrez et al., (2019) indicaron que la Laguna Cartagena en Puerto Rico, fue afectada negativamente por la presencia de nutrientes de escorrentía como el fósforo que se presenta en un estado hipereutrófico provocado por el cultivo de caña de azúcar a fines del siglo XX. El objetivo de esta investigación es aplicar dos métodos matemáticos diferentes para evaluar el nivel de eutrofización de un humedal en Puerto Rico. Hicieron uso del método de Grey Clustering para clasificar el estado eutrófico de la laguna Cartagena aplicando los estándares tróficos internacional y chino, los parámetros medidos para este estudio fueron el fósforo total (TP), nitrógeno total y la flatulencia y para poder analizar si la laguna podría recuperarse, se utilizó fósforo radioactivo soluble (SRP) y TP en el monitoreo de aguas en las entrada, centro y salida de la laguna. Los autores tomaron los datos de investigaciones anteriores. El estándar internacional usa tres categorías para clasificar los estados tróficos: oligotrófico, mesotrófico y eutrófico; mientras que el estándar chino lo clasifica en seis categorías. En los resultados se pudo observar que el punto de equilibrio del Grey Cluster no siempre es eutrófico y es independiente del aporte de fósforo, pero se demostró que el punto central será objetivo si se hace uso de todos los valores de los parámetros. y se concluyó que la laguna Cartagena puede ser considerada en condición irreversible, ya que no es posible llevarla a un equilibrio oligotrófico reduciendo la entrada de fósforo. Este estudio nos ayudó a entender que sin los parámetros correctos a evaluar podemos llegar a resultados no veraces y que la elección de parámetros será de mucha importancia para proponer soluciones a nuestra problemática.

En el Mundo

El método Grey Clustering es usado actualmente para diferentes aplicaciones en distintos rubros, por ejemplo para la evaluación de impacto social, de la calidad del aire, economía, tecnología, entre otros (Delgado et al., 2020). Sin embargo, existe una escasa literatura en lo que refiere a la evaluación de la calidad del agua. Por lo expresado, los antecedentes que presentaremos a continuación a pesar de su antigüedad cuentan con las características necesarias para servir de soporte a nuestra investigación:

(Wang et al., 2018), en China, proponen el método de Grey Clustering basado en un proceso de jerarquía analítica mejorado para evaluar la calidad del agua superficial, asignando la puntuación de importancia y el peso de los diferentes indicadores. El peso participa en el cálculo del coeficiente de Grey Clustering, y la categoría de calidad del agua evaluada considera el estándar de calidad ambiental de aguas superficiales (GB3838-2002). Las muestras de calidad del agua fueron 12 en tres períodos (abundante, normal y deficiente) en las cuatro secciones del río Qingshui en la ciudad de Duyun (jardín de té, Youhang, Yingpan y Jiadeng) fueron seleccionados para la evaluación, y se utilizaron el método convencional de Grey Clustering y el método de factor único en comparación con el mejorado. Los resultados de la evaluación muestran que el método de Grey Clustering mejorado es más científico y razonable y puede proporcionar una base para la evaluación de la calidad del agua y la gestión del medio ambiente del agua. Este estudio nos ayudó a tener como referencia su aplicación en base a los ECA para agua superficial que se aplican en China y su consideración del método.

Zhang et al., (2013), buscó obtener una clasificación ecológica de las ciudades de China puesto que solo existen estudios cualitativos respecto al tema; para lo cual, se realizó

este estudio cuantitativo comparando los efectos de 6 métodos distintos aplicados: gray clustering, fuzzy clustering, the coefficient of mode ratio, comprehensive index, systematical clustering y k-means clustering. El índice de clasificación que se construye para reflejar las diferencias entre ciudades se divide en tres aspectos: regional ecological background, urban evolution y urban synthesis comprehensive conditions. El primero contiene datos vectoriales de precipitación, temperatura y terreno; el segundo, datos sobre las condiciones sociales y económicas de cada provincia; y el último posee de ambos tipos. Tras la aplicación de los diversos métodos se concluye que el método de Grey Clustering es el método más adecuado para la clasificación regional de ecociudades, desempeñándose mejor en la interpretación de los antecedentes ecológicos regionales y la evolución urbana. Este método busca representar una mejora en la racionalidad en el proceso de clasificación y además este estudio nos aportará de como el método Grey Clustering es de mejor aplicación que otros metodos.

Zhu & Hao, (2009), realizaron la aplicación del método Grey Clustering en 20 puntos diferentes del río Suzhou, en China. Para el criterio de evaluación tomó valores del Estándar de calidad de aguas superficiales (GB2BI-2002)-Ministerio del ambiente de China; con 3 índices contaminantes: CODmn, BOD5 y DO; y la clasificación grey cuenta con 5 rangos. Tras la aplicación del método se obtuvo que 3 puntos tienen rango de clasificación grey I, 15 puntos del río Suzhou tienen clasificación grey IV y 2 puntos clasificación grey V. Finalmente, los resultados del método Grey Clustering generaron un incremento en la precisión de la evaluación de la calidad del río, por lo que este método es considerado como fiable y eficaz, incluso puede superar las desventajas de factores individuales y de esa manera reflejar la calidad del agua más cercana a la realidad. Este estudio nos permitió entender que el método Grey Clustering se puede aplicar con distinto número de rangos, mínimo 2, para poder hacer una comparación de los niveles de calidad. En este caso, al usar las subcategorías del ECA agua para consumo humano, tendremos 3 clasificaciones para el método Grey Clustering.

Wang Liping et al., (2011), evaluaron la calidad del agua del río Fenchuan en China aplicando el método Grey Clustering. Los resultados del estudio indicaron que la calidad del área de Baota del río Fenchuan se encontraba contaminada de diversa forma, por un lado, la calidad de agua de Jinjiabian y la corriente principal de Madoxiang fue ligeramente contaminada, por otro lado, la calidad del agua de la corriente principal de Linzhengzheng, aguas abajo, y la salida de Guanzhuang fueron gravemente contaminadas. Al respecto, se indicó que la principal causa de esta contaminación orgánica fue la descarga de aguas residuales domésticas sin tratamiento. Finalmente, se concluyó que a través de la aplicación del método Grey Clustering para la evaluación del agua en el río Fenchuan, se logró confirmar el peso de cada factor en función del valor de concentración medido, lo que garantizó un aumento en la tasa de utilización de la información, y con ello objetividad y exactitud en el análisis de los resultados. Este estudio nos servirá para como referente indicar las causas principales de contaminación de acuerdo a los parámetros obtenidos en el monitoreo.

Conceptos básicos

- Incertidumbre

El término incertidumbre se emplea para señalar la falta de certeza o precisión de un resultado, la cual se busca disminuir a través del estudio de sus causas y

el posterior desarrollo de una metodología que permita reducirlas (reduciendo por ende el azar epistemológico) (Bernal & Fernando, 2013).

Algunos autores consideran que la incertidumbre se produce por errores en los modelos empleados para realizar las predicciones, la información de referencia, los datos utilizados y los supuestos establecidos. Al respecto De Jongh (1988) señala tres tipos de errores estructurales que pueden ocurrir en los modelos ambientales: 1. La simplificación excesiva de la realidad; 2. La incapacidad para describir los procesos reales de causa y efecto y 3. El uso de un modelo no válido para el problema en cuestión (Bernal & Fernando, 2013)

- **Lógica difusa**

La lógica difusa enfatiza la investigación de problemas con incertidumbre cognitiva, donde los objetos de investigación poseen la característica de intención clara y extensión poco clara, así, para este tipo de problemas de incertidumbre cognoscitiva con intención clara y extensión poco clara, la situación se aborda en matemáticas difusas haciendo uso de la experiencia y la llamada función de membresía (Delgado & Romero, 2016)

- **Inteligencia artificial**

La inteligencia artificial es una disciplina que estudia las actividades humanas para las que no se dispone de métodos para describirlas (Pérez, 1989).

La inteligencia artificial como base para la aplicación del método Grey Clustering se presenta como una combinación de matemática con programación para el tratamiento de datos y procesamiento de información, a partir de la cual se elabora una nueva alternativa para evaluar la calidad del agua de una manera integral (Berrospi & Rodrigo, 2020).

- **Método Grey Clustering**

Grey Clustering es un método basado en la teoría de sistemas grises desarrollada inicialmente por Deng que se centra en el estudio de problemas con pequeñas muestras de información limitada con el uso de la inteligencia artificial (Delgado, Vriclizar, et al., 2017a)

Este método permite la cuantificación de información cualitativa y la clasificación de los objetos observados en clases definibles, así como la verificación de si los objetos observados pertenecen a clases predeterminadas (Zhu & Hao, 2009)

Este hecho hace que la teoría de sistemas grises pueda ser ampliamente aplicada, como, por ejemplo, en problemas de optimización, evaluación de impacto social o decisión sobre el riesgo de inversión (Delgado, Aguirre, et al., 2017)

- **Entropía de Shannon**

Shannon planteó el concepto de la *entropía* como una medida de la incertidumbre de la información formulada en términos de teoría de la probabilidad. Este método denominado “Entropía de Shannon”, se utiliza para calcular objetivamente los pesos de un criterio. Así, si hay una gran diferencia entre los objetos para un criterio determinado, este criterio puede ser

considerado como un factor importante para el análisis de alternativas, sea para un caso de contaminación ambiental o para un problema de selección de software (Delgado & Romero, 2016).

La investigación que ha realizado Shannon ha contribuido a la resolución de problemas diferentes temas como la contaminación, la calidad del agua, gestión, o detección de fallos (Delgado & Romero, 2016)

- **ECA del agua**

Para el presente proyecto, se considerará lo establecido por numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley N° 28611 que define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente

Los ECA tienen como objeto establecer las medidas de concentración máxima de determinados elementos o parámetros en un componente ambiental, por ello su importancia para el diseño de normas legales y políticas públicas, así como para el diseño y aplicación de instrumentos de gestión ambiental que sirvan para proteger el ambiente y la salud de las personas (OEFA, 2015).

En el año 2017, el MINAM, mediante D.S N° 004-2017-MINAM, aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, el cual cuenta con 4 categorías – Poblacional y Recreacional; Extracción, cultivo y otras actividades marino-costeras y continentales; Riego de vegetales y bebida de animales; Conservación del ambiente acuático- y 17 subcategorías.

- **Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS)**

Los Índices de Calidad de Agua (ICAHS), constituyen herramientas matemáticas que integran información de varios parámetros, permitiendo transformar grandes cantidades de datos en una escala única de medición de calidad del agua (ANA, 2020)

En este sentido, los ICARHS constituyen un instrumento fundamental debido a que permiten transmitir información de manera sencilla sobre la calidad del recurso hídrico a las autoridades competentes y al público en general; e identifica y compara las condiciones de calidad del agua y sus posibles tendencias en el espacio y el tiempo. Siendo la valoración de la calidad del agua en una escala de 0 - 100, donde 0 (cero) es mala calidad y 100 es excelente.

- **La calidad del agua**

La calidad del agua puede ser entendida como aquellas condiciones que deben darse en el agua para que ésta mantenga un ecosistema equilibrado y para que cumpla unos determinados objetivos de calidad (calidad ecológica), o como el conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas que la definen, etc (Ministerio de Medio Ambiente, 2000).

3. Preguntas, objetivos e hipótesis de la investigación

PREGUNTA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
¿La aplicación del método Grey Clustering y la entropía de Shannon será una alternativa que facilite la evaluación de la calidad del agua en los cuerpos receptores ubicados en el ámbito de la cuenca del río Rímac?	Aplicar el método Grey Clustering y la entropía de Shannon para brindar una alternativa que facilite la evaluación de la calidad del agua en los cuerpos receptores ubicados en el ámbito de la cuenca del río Rímac	La aplicación del método Grey Clustering y la entropía de Shannon es una nueva alternativa que facilita la evaluación de la calidad del agua en los cuerpos receptores ubicados en el ámbito de la cuenca del río Rímac porque nos permitirá incorporar la incertidumbre dentro del análisis por falta de información e incorporación de criterios de relevancia

PREGUNTAS ESPECÍFICAS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS
¿Qué cantidad de puntos de monitoreo se requiere para aplicar el método Grey Clustering y la Entropía de Shannon en la cuenca del río Rímac?	Diseñar la red de puntos de monitoreo de los cuerpos receptores ubicado en la cuenca del río Rímac
¿Cómo influye la geología en la calidad de los cuerpos receptores la ubicados en la cuenca del río Rímac?	Evaluar la influencia de la geología en la calidad de los cuerpos receptores ubicados en la cuenca del río Rímac.
¿Cuál es el procedimiento a seguir para el desarrollo del método Grey Clustering y la entropía de Shannon en la cuenca del río Rímac?	Determinar el procedimiento a seguir para desarrollar el método Grey Clustering y la entropía de Shannon en la cuenca del río Rímac
¿Cuál es el procedimiento a seguir para el cálculo del ICARHS en la cuenca del río Rímac?	Determinar el procedimiento a seguir para el cálculo de los ICARHS en los cuerpos receptores ubicados en la cuenca del río Rímac
¿Cuáles son las ventajas y desventajas que presentan el método Grey Clustering y la entropía de Shannon frente a los ICARHS?	Determinar las ventajas y desventajas del método Grey Clustering y la entropía de Shannon frente a los ICARHS a través de un Análisis Multicriterio para la toma de decisión entre alternativas

¿Cómo se puede incorporar la aplicación del método Grey Clustering y la entropía de Shannon en la normativa peruana sobre la evaluación de la calidad de los cuerpos receptores

Justificar constitucional, legal y reglamentariamente la incorporación del método Grey Clustering y la entropía de Shannon en la normativa peruana sobre la evaluación de la calidad de los cuerpos receptores

4. Fuentes de información

Para determinar las diferentes fuentes de información que serán necesarias y qué se espera obtener de ellas se muestran las siguientes tablas (Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3):

Tabla 1.

Tabla con las bases de datos públicas que ayudarán a obtener información sobre el problema de investigación y precisar qué información se piensa obtener de las bases de datos.

Nombre de la fuente de información (url, bibliografía o cita legal)	Qué se espera obtener
Diagnóstico inicial para el Plan de Gestión de Recursos Hídricos de las Cuencas Chillón, Rímac, Lurín y Chilca. (ANA, 2019) http://observatoriochirilu.ana.gob.pe/sites/default/files/Archivos/Diagnostico%20Inicial%202019.pdf	Información de la geología del río Rímac, datos de precipitación, el balance hídrico y la demanda de agua.
Caracterización hidrogeológica de la subcuenca Santa Eulalia – cuenca del río Rímac – departamento de Lima (INGEMMET. 2016) https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1916	Cartografiado litológico y estructural de cada formación geológica, inventario de fuentes de agua, pruebas de infiltración, y caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas presentes en la Cuenca del río Rímac.
ANA (2013). Plan Nacional de Recursos Hídricos. https://www.ana.gob.pe/portal/gestion-del-conocimiento-girh/plan-nacional-de-recursos-hidricos	Estado de la calidad del agua de la cuenca del río Rímac hasta el periodo 2013 para tenerlo como referente en la evaluación
Resultado del monitoreo participativo de la calidad de agua superficial de la cuenca del río Rímac: Informe técnico(2015).	Información acerca de los puntos de monitoreo realizados por el ANA y parámetros a considerar para la evaluación

<https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2456>

Estado Situacional de los Recursos Hídricos en las Cuencas Chillón - Rímac - Lurín – 2017/2018.

<https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4742>

de la calidad del agua en la cuenca del río Rímac

Información técnico-científica sobre el Estado Situacional de los Recursos Hídricos en las cuencas Chillón, Rímac, Lurín y Chilca 2017/2018, cuerpos de agua que se analizarán en la evaluación.

Tabla 2.

Tabla con las fuentes bibliográficas precisando qué información se espera obtener de cada texto.

Nombre de la fuente de información (url, bibliografía o cita legal)	Qué se espera obtener
Guías para la elaboración de mapas y boletines de la Carta Geológica Nacional (INGEMMET, 2015) https://portal.ingemmet.gob.pe/documents/73138/114046/Gu%C3%ADa_Elaboracion_Carta_Geologica.pdf/e67e5919-4c67-47f6-a167-155a9b40bfdc	Codificación, simbología, etiquetado y representación de las unidades geológicas para la realización de mapas geológicos.
Guía metodológica para la elaboración de Mapas Geomorfológicos a escala 1:100 000 (IDEAM, 2013) http://www.ideam.gov.co/documents/11769/152722/Guia_Enero_201401+%281%29.pdf/501aa421-a0e4-4a1d-a5c8-d6cb1b0de520	Pasos a seguir para la adecuada elaboración y procesamiento de mapas geomorfológicos.
Sistema de Información Geológico y Catastral Minero - GEOCATMIN https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/	Información geológica existente de los mapeos geológicos realizados por el INGEMMET
Geoservidor del Ministerio del Ambiente del Perú. http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/download_raster.aspx	Información DEM y SHP para la realización de mapas como el de Ubicación, de pendientes e hidrológico y otros que surjan del procesamiento de estos.
<i>Grey Systems: Theory and Applications</i> (2011)	Fundamentos, principios en que se basa los sistemas Grey para la incorporación de la incertidumbre principalmente por la

<https://doi.org/10.1007/978-3-642-16158-2>

Grey Data Analysis: Methods, Models and Applications

<https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-10-1841-1>

Shannon Entropy

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/shannon-entropy>

Assessment of Surface Water Quality on the Upper Watershed of Huallaga River, in Peru, using Grey Systems and Shannon Entropy, (2020)

<https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0111156>

falta de información, es decir es aplicable en tamaño de muestras grandes o pequeñas y así también puede llevarse a cabo convenientemente sin el problema de desacuerdo entre las conclusiones cuantitativas y cualitativas, y su gran campo de aplicabilidad. Y además la construcción del método Grey Clustering basado en estos sistemas Grey.

Las diferentes formas de poder incorporar el método Grey Clustering para el análisis de datos, para nuestro caso estará basado en el análisis por *center-point triangular whitenization weight functions* (CTWF), y además las definiciones para el desarrollo en pasos del método Grey Clustering.

Conceptos, teorías y fundamentos de la entropía de Shannon, de la manera en que aborda la incertidumbre de la dispersión de datos de un proceso aleatorio y su formulación, y además la incorporación del término divergencia como una distancia entre la entropía de Shannon, consecuentemente a través de la divergencia se proporcionarán los pesos para criterios.

Descripción del método CTWF, suponiendo que hay un conjunto de m objetos, un conjunto de n criterios y un conjunto de s clases grey, según el valor muestral $(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$. Luego los pasos del método CTWF que se desarrollarán para la metodología Grey Clustering, incorporando como complemento pesos por cada criterio de la entropía de Shannon. Y además su aplicación para el análisis de la calidad del agua.

Artificial intelligence model based on grey systems to assess water quality from Santa river watershed, (2017)

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8247310>

Applying triangular whitenization weight functions to assess water quality of main affluents of Rimac river

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8247308>

Osorio J. y Orejuela J. (2008). El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Scientia et Technica*. 247-252.

<https://doi.org/10.22517/23447214.3217>

Contreras E. (2009). Evaluación social de proyectos. *Cepal*.

https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/7/35117/ev_social_ILPES_2009_4_multicriterio.pdf

Casos aplicativos del método Grey Clustering que tienen como referencia a los ECA para agua del Perú y para la calidad de cuencas.

Casos aplicativos del método Grey Clustering en nuestra zona de estudio que tienen como referencia el índice de Prati para la calidad de 5 efluentes del río Rímac.

Conocer las principales bases y el proceso de desarrollo de la metodología AHP. Además, analizar la aplicación para la toma de decisión en base al ejemplo que brindan.

Conocer los fundamentos, principios y ventajas de la metodología AHP. Comprender el proceso del método a través de ejemplos y aplicaciones.

Tabla 3.

Tabla con las normas legales peruanas precisando qué información se espera obtener de cada texto normativo.

Nombre de la fuente de información (url, bibliografía o cita legal)	Qué se espera obtener
RJ N° 084 - 2020 - ANA: Metodología para la determinación del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS). https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4479	Las bases para la aplicación de la metodología ICARSH y sus considerandos en la obtención de los resultados para la evaluación de la calidad del agua.
Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de Agua.	Conocer los niveles de concentración de los parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en los cuerpos receptores ubicados en el ámbito de la cuenca del río Rímac.

<https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>

Ley N°29338, Ley de Recursos Hídricos

<https://www.ana.gob.pe/publicaciones/ley-no-29338-ley-de-recursos-hidricos>

La normativa legal que justifique la incorporación del método Grey Clustering y la entropía de Shannon en materia de evaluación ambiental.

Decreto Supremo N°018-2017-MINAGRI, Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua

<https://www.ana.gob.pe/normatividad/ds-ndeg018-2017-minagri-0>

La normativa reglamentaria que justifique la incorporación del método Grey Clustering y la entropía de Shannon en materia de evaluación ambiental.

5. Metodología de la investigación

• Enfoque de investigación:

La metodología de investigación del presente estudio es mixta porque combina los enfoques cuantitativo y cualitativo (Hernández Sampieri et al., 2014). Por un lado, es cuantitativo debido a que se observan los datos y hechos objetivamente antes de la aplicación del método Grey clustering y la entropía de Shannon. Y, por otro lado, es cualitativo porque permite la participación de un equipo multidisciplinario para realizar un Análisis Multicriterio para la toma de decisiones y la justificación constitucional, legal y reglamentaria de la incorporación del método.

• Tipo de investigación:

El tipo de investigación es aplicada; según lo señalado por Behar Rivero, (2008), la investigación aplicada permite el estudio y aplicación de la investigación a problemas concretos, en ese sentido la investigación se dirige a la aplicación del método Grey Clustering y la Entropía de Shannon para la evaluación de la calidad de los cuerpos receptores ubicados en el ámbito de la cuenca del río Rímac.

• Alcance de la investigación:

El alcance es descriptivo porque buscamos detallar el problema de investigación (Behar Rivero, 2008). En primer lugar, se busca identificar las características a través del diseño de la red de puntos de monitoreo de los cuerpos receptores, para luego determinar el procedimiento a seguir del desarrollo del método Grey Clustering y la entropía de Shannon en la cuenca del río Rímac.

• Método de investigación:

El método a emplear es la ponderación jurídica, ya que el objetivo de este método consiste en satisfacer en el mayor grado de lo posible los mandatos de optimización de los derechos fundamentales de acuerdo con las posibilidades fácticas y jurídicas (Orozco Solano, 2013). En ese sentido, se busca que el método Grey Clustering y la entropía de Shannon sean una alternativa en nuestro ordenamiento para la evaluación de la calidad de agua en aras de optimizar la satisfacción del derecho fundamental a un

medio ambiente saludable considerando las limitaciones fácticas de la ciencia y las jurídicas.

- **Población y muestra:**

La población: Total de puntos de monitoreo ubicados en el ámbito de la cuenca del río Rímac.

Muestra: Número de puntos de monitoreo en el río Rímac destinados al consumo Humano.

Muestreo intencionado: Según Behar Rivero, (2008) un muestreo intencionado es aquel que ya conociendo la población que se investiga, le permite al investigador seleccionar elementos que a su juicio son representativos para la investigación.

- **Unidad de análisis**

En base a la clasificación de cuerpos de agua superficiales establecida por la Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA - Anexo N° 1, la unidad objeto de análisis serán los cuerpos receptores del tramo del río Rímac naciente hasta las bocatomas de La Atarjea - SEDAPAL, que se encuentra en la Categoría 1: "Poblacional y Recreacional", Subcategoría A2: "Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.

- **Diseño Metodológico**

El diseño de la investigación es no experimental, según Hernández Sampieri et al., (2014) el diseño no experimental se realiza sin manipular deliberadamente variables, sino que se observan los fenómenos tal como se dan en su contexto natural con intención de analizarlos. A su vez es transeccional porque el estudio se realiza en un momento determinado y es descriptivo porque el propósito es analizar y describir las variables de estudio.

- **Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Se utilizará el análisis documental como fuentes secundarias de acuerdo con los informes de evaluación de la calidad del agua por parte del OEFA y con ello se utilizará sus datos de muestreo.

- **Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Para llegar al análisis de los datos se utilizará la metodología Grey Clustering, por la cual se procederá a describir el método *center-point triangular whitenization weight functions* (CTWF), que puede describirse de la siguiente manera: primero suponga que hay un conjunto de m objetos, un conjunto de n criterios y un conjunto de s clases grey, según el valor muestral $(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$. Luego los pasos del método CTWF se desarrollan con los siguientes pasos (Delgado et al., 2020; Delgado & Romero, 2016; Liu & Lin, 2011).

Paso 1: Determinación de los puntos centrales

Los rangos de los criterios se dividen en 3 clases grey, las cuales son: $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ y estos valores son determinados utilizando los ECA para agua, categoría 1

Paso 2: Adimensionamiento

En este punto se asume que existen objetos para la evaluación y n criterios o grey clases, que forman la siguiente matriz $Z = \{Z_{ij}; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}$. En ese sentido es normalizada por cada criterio $C_j (j = 1, 2, \dots, n)$. El valor normalizado P_{ij} , el cual es calculado por la ecuación 1.

$$P_{ij} = \frac{Z_{ij}}{\frac{\sum_{j=1}^n Z_{ij}}{n}} \quad (1)$$

Paso 3: Determinación de las funciones triangulares y sus funciones

Las clases grey se expanden en las direcciones de cada parámetro utilizado y para ello se usará como referencia los ECA para agua, la cual proporciona valores para medir la calidad. En esta investigación los ECA para agua nos proporciona tres (3) niveles de calidad para cada parámetro analizado, por lo que se tendrá tres (3) funciones por cada parámetro analizado. La nueva secuencia de puntos centrales en λ_1, λ_2 y λ_3 . Para la clase $k = 1, 2$ y $3, j = 1, 2, \dots, n$ para un valor observado x_{ij} . Se muestra el cálculo de las Funciones de Peso de Whitenization Triangular de Punto Central (CTWF) mediante las ecuaciones 2, 3 y 4 y la Figura 1.

$$f_j^1(x_{ij}) = \begin{cases} 1 & x \in [0, \lambda_j^1] \\ \frac{\lambda_j^2 - x}{\lambda_j^2 - \lambda_j^1} & x \in \langle \lambda_j^1, \lambda_j^2 \rangle \\ 0 & x \in [\lambda_j^2, +\infty] \end{cases} \quad (2)$$

$$f_j^i(x_{ij}) = \begin{cases} \frac{x - \lambda_j^{k-1}}{\lambda_j^k - \lambda_j^{k-1}} & x \in \langle \lambda_j^{k-1}, \lambda_j^k \rangle \\ \frac{\lambda_j^{k+1} - x}{\lambda_j^{k+1} - \lambda_j^k} & x \in \langle \lambda_j^k, \lambda_j^{k+1} \rangle \\ 0 & x \in [0, \lambda_j^{k-1}] \cup [\lambda_j^{k+1}, +\infty] \end{cases} \quad (3)$$

$$f_j^n(x_{ij}) = \begin{cases} \frac{x - \lambda_j^{n-1}}{\lambda_j^n - \lambda_j^{n-1}} & x \in \langle \lambda_j^{n-1}, \lambda_j^n \rangle \\ 1 & x \in [\lambda_j^n, +\infty] \\ 0 & x \in [0, \lambda_j^{n-1}] \end{cases} \quad (4)$$

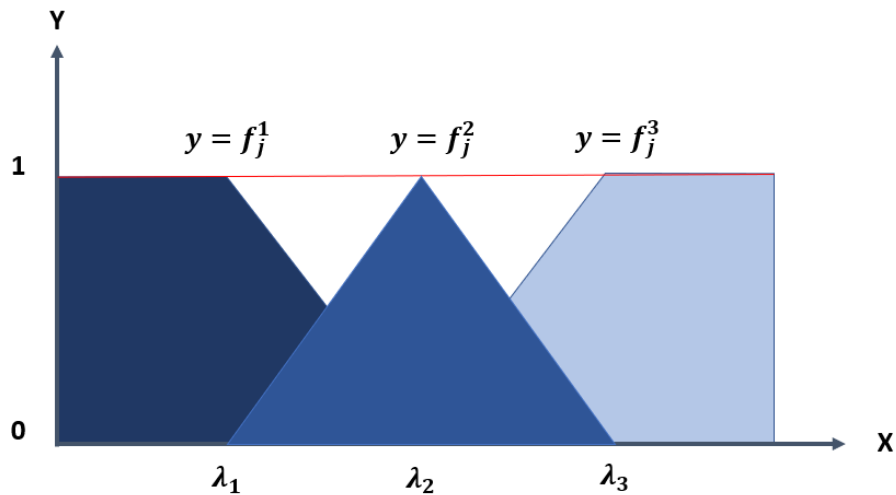


Figura 1. Funciones de Clustering

Paso 4: Determinación del peso por cada criterio

En este paso se hace uso del método del peso de la Entropía de Shannon, el cual desarrolló la medida “H”, que satisface las siguientes propiedades (Alexi Delgado et al., 2020; Alexi Delgado & Romero, 2016; He et al., 2020; Liu, 2011; Shemshadi et al., 2011): H es una función continua positiva.

- Si todos p_i son equivalentes $p_i = 1/n$, en ese sentido, H debería ser una función creciente monótona de n .
- Para todo $n \geq 2$, $H(P_1, P_2, \dots, P_n) = h(p_1 + p_2, p_3, \dots, P_n) + (p_1 + p_2)H\left(\frac{p_1}{p_1 + p_2}, \frac{p_2}{p_1 + p_2}\right)$

Shannon muestra que solo las funciones que satisfacen esta condición son calculadas por la Ecuación 5.

$$H_{Shannon} = -\sum_i^n p_i \log(p_i) \quad (5)$$

Donde: $0 \leq p_i \leq 1$; $\sum_{i=1}^n p_i = 1$

En torno a la metodología del peso de la entropía, puede ser demostrado de acuerdo con la siguiente definición (Delgado & Romero, 2016; Liu & Lin, 2011). Según lo mostrado anteriormente, se muestra m objetos para la evaluación y n criterios de evaluaciones, las cuales forman la siguiente matriz $x = \{x_{ij}; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}$. Después de ello, continúan las siguientes etapas.

- 1) Entonces la matriz $x = \{x_{ij}; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}$ es normalizada por cada criterio C_j . La normalización evalúa P_{ij} y son calculados mediante la Ecuación 6.

$$f_j^1(x_{ij})P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (6)$$

- 2) La entropía de cada criterio es calculada por la Ecuación 7, que fue construida en base a la ecuación 7.

$$H = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (7)$$

Donde, k es constante, $k = (\ln(m))^{-1}$

- 3) El grado de divergencia de la información intrínseca de cada criterio C_j es calculada por la ecuación 8.

$$div_j = 1 - H_j \quad (8)$$

- 4) El peso de la entropía de cada criterio C_j es calculada por la ecuación 9.

$$w_j = \frac{div_j}{\sum_{j=1}^n div_j} \quad (9)$$

Donde, w_j es igual al n_j

Paso 5: Determinación del coeficiente de clusterización

El coeficiente de clusterización σ_i^k por objeto $i, i = 1, 2, \dots, m$, con respecto a las grey clases $k, k = 1, 2, \dots, s$, se calcula mediante la ecuación 10.

$$\sigma_i^k = \sum_{j=1}^n f_j^k(x_{ij}) n_j \quad (10)$$

Donde $f_j^k(x_{ij})n_j$ es la CTWF de la k -ésima grey clase del j -ésimo criterio, y n_j es el peso del criterio J , para establecer dichos se utilizará el método de Entropía de Shannon.

Paso 6: Resultados usando el máximo coeficiente de clusterización

Finalmente, se tiene que calcular el valor de $\max_{1 \leq k \leq s}$, en base a ello se opta por el objeto pertenece a cada clase grey. Cuando hay varios objetos en alguna clase grey, estos objetos pueden ser ordenados de acuerdo con las magnitudes de sus coeficientes de clusterización.

6. Bibliografía

ANA. (2020). Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales

(ICARHS). *Repositorio Institucional - ANA*.

<http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4479>

Behar Rivero, D. (2008). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN* (Lic. Diana E. Prieto

Acosta y MSc. Frank W. Castro López). <https://es.slideshare.net/ceferinacabrera/libro-metodologia-investigacion-behar-rivero-1>

Bernal, M., & Fernando, L. (2013). *Análisis de la Incertidumbre en los Estudios de Impacto Ambiental en Colombia desde el Enfoque de los Sistemas Complejos*.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/47131>

Berrospi, J., & Rodrigo, B. (2020). Propuesta de mejora de la priorización de pasivos

ambientales mineros en el Perú mediante una metodología basada en inteligencia

artificial con Grey Systems. *Repositorio de Tesis - PUCP*.

<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/17044>

Delgado, A., Aguirre, A., Palomino, E., & Salazar, G. (2017). Applying triangular whitening weight functions to assess water quality of main affluents of Rimac river. *2017 Electronic Congress (E-CON UNI)*, 1-4.

<https://doi.org/10.1109/ECON.2017.8247308>

Delgado, A., Barreto, K., Dávila, V., Rivera, K., & Huamaní, E. L. (2021). Expressing the Results of the Surface Water Quality Monitoring in Lagoons of the El Padrino Mining Project in Linguistic Categories Using the Grey Clustering Methodology of the Fuzzy Logic System. *Journal of Hunan University Natural Sciences*, 47(12), Article 12.

<http://www.jonuns.com/index.php/journal/article/view/483>

Delgado, A., Rojas, N., Oblitas, J., Andrés, B., Huerta, A., & Carbajal, C. (2020). Water Quality Assessment using the Grey Clustering Analysis on a river of Taxco, Mexico. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*,

9(4), 4717-4723. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/76942020>

Delgado, A., & Romero, I. (2016). Environmental conflict analysis using an integrated grey clustering and entropy-weight method: A case study of a mining project in Peru.

Environmental Modelling & Software, 77, 108-121.



<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.12.011>

Delgado, A., Vidal, J., Castro, J., Felix, J., & Saenz, J. (2020). Assessment of Surface Water Quality on the Upper Watershed of Huallaga River, in Peru, using Grey Systems and Shannon Entropy. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 11(11), Article 11.

<https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0111156>

- Delgado, A., Vriclizar, D., & Medina, E. (2017a). *Artificial intelligence model based on grey systems to assess water quality from Santa river watershed.*
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8247310>
- Delgado, A., Vriclizar, D., & Medina, E. (2017b). Artificial intelligence model based on grey systems to assess water quality from Santa river watershed. *2017 Electronic Congress (E-CON UNI)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ECON.2017.8247310>
- Delgado, Cuadra, D., Simon, K., Bonilla, K., Tineo, K., & Huamaní, E. L. (2021). Evaluation of Water Quality in the Lower Huallaga River Watershed using the Grey Clustering Analysis Method. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 12(1), Article 1.
<https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120156>
- Delgado, Fernandez, A., Chirinos, B., Barboza, G., & Huamaní, E. L. (2021). Impact of the Mining Activity on the Water Quality in Peru Applying the Fuzzy Logic with the Grey Clustering Method. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 12(1), Article 1.
<https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120141>
- Gutiérrez, M. P., Velasquez, B. C. T., Colon, Y. M. S., & Gibbs, F. C. S. (2019). Two mathematical approaches to study the phosphorus eutrophication of a wetland in Puerto Rico. *INGE CUC*, 15(1), 63-76. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.15.1.2019.06>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación.* (McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.).
<https://academia.utp.edu.co/grupobasicoclinicayaplicadas/files/2013/06/Metodolog%C3%ADa-de-la-Investigaci%C3%B3n.pdf>

- Liu, S., & Lin, Y. (2011). Introduction to Grey Systems Theory. En S. Liu & Y. Lin (Eds.), *Grey Systems: Theory and Applications* (pp. 1-18). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-16158-2_1
- Ministerio de Medio Ambiente. (2000). *Libro Blanco del Agua/ HISPAGUA*. Centro de Publicaciones Secretaría general Técnica. <http://hispagua.cedex.es/node/66958>
- OEFA. (2015). *Instrumentos básicos para la Fiscalización Ambiental | SIAL Trujillo | Sistema Local de Información Ambiental*.
<http://sial.segat.gob.pe/documentos/instrumentos-basicos-fiscalizacion-ambiental>
- Orozco Solano, V. (2013). *La ponderación como técnica de aplicación de las normas sobre derechos fundamentales: Una sentencia emitida por el Tribunal Constitucional español en materia de libertad religiosa*. <https://www.corteidh.or.cr/tablas/r31074.pdf>
- Pérez, C. (1989). Inteligencia Artificial (IA) y Educación. *Anales de Pedagogía*, 7, Article 7.
<https://revistas.um.es/analespedagogia/article/view/287731>
- Torres, B. C., & Paredes, M. (2018). Aplicación del método de agrupamiento de grises para evaluar la eutrofización en seis humedales de Colombia. *Realidad y Reflexión*, 147-162. <https://doi.org/10.5377/ryr.v0i47.6282>
- Wang, J., Wang, X., Zhang, X., Li, H., Lei, X., Wang, H., & Wang, L. (2018). Application of Grey Clustering Method Based on Improved Analytic Hierarchy Process in Water Quality Evaluation. *MATEC Web of Conferences*, 246, 02004.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201824602004>
- Wang Liping, Lai Kunrong, & Zhou Weibo. (2011). Application of Grey Clustering method for water quality evaluation in fenchuan River Yan'an Baota Area. *2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection*, 2, 838-841.
<https://doi.org/10.1109/ISWREP.2011.5893142>

- 
- Zhang, W., Ping, Z. W., Zhang, H. Y., & Zhang, Y. F. (2013). Application of gray clustering method in the ecological classification of the cities in China. *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Grey systems and Intelligent Services (GSIS)*, 325-329. <https://doi.org/10.1109/GSIS.2013.6714791>
- Zhu, C., & Hao, Z. (2009). Application of Grey Relation Analysis in Evaluation of Water Quality. *2009 International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*, 1, 255-257. <https://doi.org/10.1109/ESIAT.2009.38>
- 

7. ANEXOS

Tema de investigación:	Aplicación del método Grey Clustering y la entropía de Shannon como una alternativa para evaluar la calidad del agua en los cuerpos receptores ubicados en el ámbito de la cuenca del río Rímac
Agenda de investigación para la fiscalización ambiental:	sí
Problema de investigación:	¿La aplicación del método Grey Clustering y la entropía de Shannon será una alternativa que facilite la evaluación de la calidad del agua en los cuerpos receptores ubicados en el ámbito de la cuenca del río Rímac?

Tabla 4. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Preguntas de investigación	Tareas de investigación	Hipótesis de trabajo	Instrumentos de recogida de la información
¿La aplicación del método Grey Clustering y la entropía de Shannon será una alternativa que facilite la evaluación de la calidad del agua en los cuerpos receptores ubicados en el ámbito de la cuenca del río Rímac?	Aplicar el método Grey Clustering y la entropía de Shannon para brindar una alternativa que facilite la evaluación de la calidad del agua en los cuerpos receptores ubicados en el ámbito de la cuenca del río Rímac	La aplicación del método Grey Clustering y la entropía de Shannon es una nueva alternativa que facilita la evaluación de la calidad del agua en los cuerpos receptores ubicados en el ámbito de la cuenca del río Rímac porque nos permitirá incorporar la incertidumbre dentro del análisis por falta de información e incorporación de criterios de relevancia	ANA (2013). Plan Nacional de Recursos Hídricos. https://www.ana.gob.pe/portal/gestion-del-conocimiento-girh/plan-nacional-de-recursos-hidricos Estado Situacional de los Recursos Hídricos en las Cuencas Chillón - Rímac - Lurín – 2017/2018 https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4742 Resultado del monitoreo participativo de la calidad de agua

			superficial de la cuenca del río Rímac: Informe técnico(2015) https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2456
¿Qué cantidad de puntos de monitoreo se requiere para aplicar el método Grey Clustering y la Entropía de Shannon?	Diseñar la red de puntos de monitoreo de los cuerpos receptores ubicado en la cuenca del río Rímac	La cantidad de puntos de monitoreo considerados en base a criterio del investigador es representativa para la determinación de la calidad del agua	Muestreo intencionado representativos a juicio del investigador y/o consulta de expertos
¿Cómo influye la geología en la calidad de los cuerpos receptores la ubicados en la cuenca del río Rímac	Evaluar la influencia de la geología en la calidad de los cuerpos receptores ubicados en la cuenca del río Rímac.	La Geología presente en la cuenca del río Rímac permite diferenciar si los cuerpos receptores presentan niveles altos de concentración de metales de manera natural o por contaminación antropogénica.	ANA (2013). Plan Nacional de Recursos Hídricos. https://www.ana.gob.pe/portal/gestion-del-conocimiento-girh/plan-nacional-de-recursos-hidricos Diagnóstico inicial para el Plan de Gestión de Recursos Hídricos de las Cuenas Chillón, Rímac, Lurín y Chilca. (ANA, 2019) http://observatoriochirilu.ana.gob.pe/sites/default/files/Archivos/Diagnostico%20Inicial%2027082019.pdf Caracterización hidrogeológica de la subcuenca Santa Eulalia –

			<p>cuenca del río Rímac – departamento de Lima (INGEMMET. 2016)</p> <p>https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1916</p>
<p>¿Cuál es el procedimiento a seguir para el desarrollo del método Grey Clustering y la entropía de Shannon en la cuenca del río Rímac?</p>	<p>Evaluar la influencia de la geología en la calidad de los cuerpos receptores ubicados en la cuenca del río Rímac.</p>	<p>El método Grey clustering y la entropía de Shannon son métodos incluyentes y sigue un procedimiento secuencial que permite el manejo y procesamiento de datos de manera objetiva.</p>	<p><i>Assessment of Surface Water Quality on the Upper Watershed of Huallaga River, in Peru, using Grey Systems and Shannon Entropy,</i> (2020)</p> <p>https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0111156</p> <p><i>Grey Systems: Theory and Applications</i> (2011)</p> <p>https://doi.org/10.1007/978-3-642-16158-2</p>
<p>¿Cuál es el procedimiento a seguir para el cálculo del ICARHS en la cuenca del río Rímac?</p>	<p>Determinar el procedimiento a seguir para el cálculo de los ICARHS en los cuerpos receptores ubicados en la cuenca del río Rímac</p>	<p>El método ICARHS aplicado en el análisis de la calidad de agua de los cuerpos receptores en el ámbito de la cuenca del río Rímac permitirá demostrar que la referida metodología, no considera el grado de relevancia de cada parámetro al momento de</p>	<p>RJ N° 084 - 2020 - ANA: Metodología para la determinación del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS).</p> <p>https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4479</p>

		evaluarlos conjuntamente en el análisis de la calidad ambiental del agua, lo cual termina por generar un margen para la incertidumbre en su análisis.	
¿Cuáles son las ventajas y desventajas que presentan el método Grey Clustering y la entropía de Shannon frente a los ICARHS?	Determinar las ventajas y desventajas del método Grey Clustering y la entropía de Shannon frente a los ICARHS a través de un Análisis Multicriterio para la toma de decisión entre alternativas	La aplicación de un análisis multicriterio permitirá realizar un análisis de priorización de las metodologías de evaluación de la calidad de agua para tomar una decisión entre alternativas, conociendo sus ventajas y desventajas.	<p><i>Assessment of Surface Water Quality on the Upper Watershed of Huallaga River, in Peru, using Grey Systems and Shannon Entropy,</i> (2020) https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0111156</p> <p>RJ N° 084 - 2020 - ANA: Metodología para la determinación del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS). https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4479</p>
¿Cómo se puede incorporar la aplicación del método Grey Clustering y la entropía de Shannon en la normativa peruana sobre la evaluación de la calidad de los cuerpos receptores	Justificar constitucional, legal y reglamentariamente la incorporación del método Grey Clustering y la entropía de Shannon en la normativa peruana sobre la evaluación de la calidad de los cuerpos receptores	La incorporación del método Grey Clustering y la entropía de Shannon en la normativa peruana se puede justificar principalmente en los derechos fundamentales a un medio ambiente saludable (Art. 2, inciso 22 Const.) y al agua potable (Artículo 7-A Const.). Una vez justificada	<p>Constitución Política del Perú http://spijlibre.minjus.gob.pe/normativa_libre/main.asp</p> <p>Ley N°29338, Ley de Recursos Hídricos https://www.ana.gob.pe/publicaciones/ley-no-29338-ley-de-recursos-hidricos</p>

		<p>constitucionalmente la incorporación del método, se procedería a su justificación legal y reglamentaria en base a la potestad de la Autoridad Nacional del Agua para proponer la implementación de normas en materia de protección y recuperación de la calidad de los recursos hídricos según la Ley de Recursos Hídricos y su ROF.</p>	<p>Decreto Supremo N°018-2017-MINAGRI, Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua https://www.ana.gob.pe/normatividad/ds-ndeg018-2017-minagri-0</p> <p>Decreto Supremo N°002-2018-JUS, Plan Nacional de Derechos Humanos 2018-2021 https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-plan-nacional-de-derechos-humanos-2018-2021-decreto-supremo-n-002-2018-jus-1612558-4/</p> <p>Resolución Jefatural N°084-2020-ANA, Metodología para la determinación del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales. https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4479</p> <p>Diagnóstico inicial para el Plan de Gestión de Recursos Hídricos de las Cuencas Chillón, Rímac, Lurín y Chilca. (ANA, 2019)</p>
--	--	---	--

			http://observatoriochirilu.ana.gob.pe/sites/default/files/Archivos/Diagnostico%20Inicial%202027082019.pdf
--	--	--	---