Ingeniería de Sistemas y Computación
Escuela de Posgrado
MINE-4101: Ciencia de Datos Aplicada

Santiago Najar Gomez 202021647
Juan Diego Velásquez 201413344
Nestor Ivan Ramirez 201315220
Carlos Alberto Niño Ramirez 201516916

Proyecto Final - Primera Entrega

1. Problemática

La organización escogida es el ministerio de agua de Tanzania, este tiene como misión mejorar el acceso de agua potable segura y de garantizar servicios sanitarios para todos los ciudadanos. Esta entidad está encargada de administrar los recursos hídricos para asegurar la seguridad alimentaria nacional y un desarrollo económico sostenible.

Tanzania está ubicado en el suroriente africano, posee una población de 66.6 millones de personas, con una densidad de 67 habitantes por km^2 () . Cuenta con una superficie de 947.000 km^2 y 6.2% de ellos corresponden a cuerpos hídricos. Para ponerlo en perspectiva Colombia cuenta con 52.2 millones, una densidad de 46 personas por km2, 1’140.000 km2 de superficie de los cuales 8.8 son cuerpos hídricos, lo que significa que Tanzania tiene menos recursos hídricos y debe suplir de agua a una mayor cantidad de personas.

Para el 2015 en áfrica subsahariana sólo el 61% de personas tenían acceso a una fuente de agua potable mejorada, 40% no tenían acceso a agua canalizada en el hogar y el 25% de las personas debían gastar 30 minutos para poder obtener agua de la fuente más cercana.

Para Tanzania específicamente el panorama es el mismo, el porcentaje de personas que tenían acceso a una fuente de agua potable mejorada es únicamente del 61%, este sin embargo varía de acuerdo a la zona geográfica, por ejemplo en las islas de Zanzíbar el porcentaje es mucho mayor, el 98%. Por otro lado, en el casco urbano el porcentaje llega a 86% y finalmente las zonas rurales son las más afectadas teniendo únicamente un 49% de cobertura.

La problemática a trabajar consiste en diseñar un modelo que identifique con alta precisión el estado de los pozos de agua (funcionales, funcionales pero requieren reparaciones o no funcionales) para tomar medidas proactivas de mantenimiento y reparación de estos y con ello garantizar el servicio de agua potable a todos los ciudadanos del país.

1.1. Objetivo y KPIs

El principal objetivo del proyecto es la creación de un producto de data que apoye al ministerio del Agua y a las entidades gubernamentales de Tanzania para mejorar el procedimiento de mantenimiento y reparación de los pozos de agua del país.
Los principales KPIs del ministerio son:

- Porcentaje de cobertura a nivel nacional del servicio de agua potable.

- Número de pozos reparados al mes (que previamente no funcionaran).
- Porcentaje de pozos en funcionamiento.

Adicionalmente ya que se cuenta con recursos limitados la principal métrica a tener en cuenta es la precisión del modelo para identificar los pozos que requieren atención, de esta forma optimizar al máximo los recursos disponibles.

2. Ideación

2.1. Identificación de Potenciales Usuarios

- Personal del Ministerio de Agua: Responsables de la gestión y mantenimiento de pozos.
- Ingenieros y Técnicos: Encargados de realizar inspecciones y reparaciones en los pozos.
- Comunidad Local: Beneficiarios del acceso a agua potable y afectados por la funcionalidad de los pozos.

2.2. Procesos Actuales y Dolores Relacionados

Procesos Actuales

- Monitoreo de pozos: Inspecciones manuales y reportes de estado.
- Mantenimiento y Reparaciones: Programación y ejecución de reparaciones basadas en informes.

Dolores Relacionados

- Fallos en el monitoreo: Dificultades para identificar pozos que necesitan atención de manera proactiva. Esto genera retraso en la toma de decisiones estratégicas al interior de la compañía que opera el pozo.
- Uso Ineficiente de Recursos: Asignación de recursos sin datos precisos que guíen las decisiones. Claramente se traduce en generación de sobre costos al no saber con exactitud el estado del pozo y no poder priorizar su mantenimiento en una temprana etapa.

2.3. Requerimientos del Producto de Datos

Funcionales

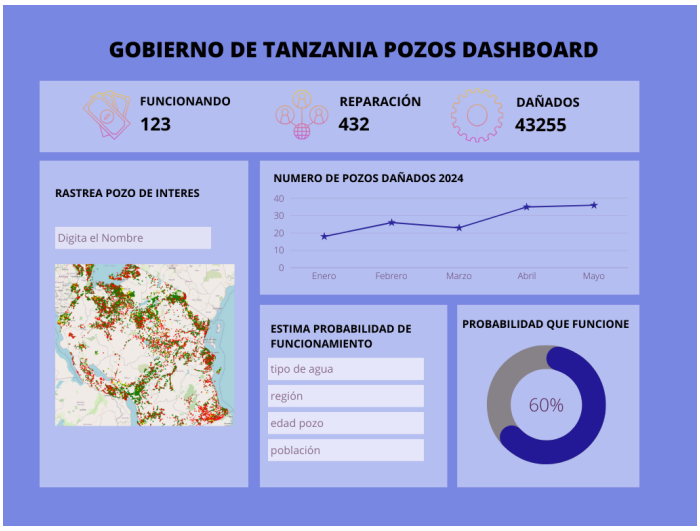
- Interfaz de Usuario Amigable: Visualización clara del estado de los pozos y acceso a datos históricos.
- Predicción del Estado de Pozos: Modelos de clasificación que indiquen si un pozo es funcional, necesita reparaciones o es no funcional.
- Sistema de Notificaciones: Alertas para el personal sobre pozos que requieren atención inmediata.

No Funcionales

- Escalabilidad: Capacidad de manejar un aumento en el número de pozos y usuarios.

- Accesibilidad: Accesible en página web para que los técnicos puedan acceder a la información en el campo.

2.4. Mockup



Modelo de Machine Learning

Optaremos por un modelo de aprendizaje automático basado en árboles de decisión y sus variantes, ideales para calcular probabilidades del estado del pozo (funcional, necesita reparación, no funcional). Los árboles de decisión son una excelente opción debido a su capacidad para manejar datos categóricos y numéricos, además de su fácil interpretabilidad. Al segmentar las variables clave, estos modelos pueden identificar patrones que predicen fallos y ayudan a planificar el mantenimiento preventivo, optimizando recursos y tiempo.

API

Desarrollaremos una API REST que proporcionará los datos de predicción en formato JSON, permitiendo que el gobierno de Tanzania acceda a la información en tiempo real desde cualquier ubicación. Esta integración permitirá que los datos de mantenimiento de pozos se puedan consumir fácilmente y se integren con los sistemas existentes del gobierno, facilitando así su implementación y uso en otras plataformas que ya empleen. La API tomará como entrada los parámetros usados para entrenar el modelo y devolverá la predicción hecha por el mismo.

Dashboard

El dashboard ofrece estadísticas clave y permite a los ingenieros en Tanzania introducir variables específicas para predecir el estado de los pozos. Esto ayuda a reducir la necesidad de desplazamientos y a optimizar recursos económicos, permitiendo al gobierno priorizar pozos que presenten alta probabilidad de fallo. Además, el dashboard proporcionará una visión general para facilitar la toma de decisiones y estará integrado con la API para una comunicación fluida y actualizada con otros sistemas del gobierno.

3. Responsables

Para abordar los aspectos éticos, de privacidad, confidencialidad, transparencia y regulatorios en el contexto del reto de "Pump it Up: Data Mining the Water Table", es crucial tener en cuenta las siguientes consideraciones:

3.1. Implicaciones éticas:

- **Equidad en el acceso a los recursos de agua:** El modelo que prediga el estado de las bombas de agua debe garantizar que las poblaciones más vulnerables no sean desatendidas. La discriminación en la asignación de recursos, basada en factores socioeconómicos o geográficos, podría agravar las desigualdades en el acceso al agua potable. Es esencial garantizar que los resultados del modelo no perpetúen estas desigualdades, sino que promuevan una distribución justa de los recursos.
- **Impacto en las comunidades locales:** Las decisiones basadas en el modelo afectarán directamente a las comunidades que dependen de estas fuentes de agua. Por lo tanto, el modelo debe considerar no solo la funcionalidad técnica de las bombas, sino también el impacto social y económico de las reparaciones o sustituciones.

3.2. Transparencia:

- **Explicabilidad del modelo:** Las predicciones del modelo sobre el estado de las bombas deben ser comprensibles para los usuarios finales, como los encargados de mantenimiento o los funcionarios gubernamentales. Esto significa que el modelo debe ser interpretable, proporcionando explicaciones claras sobre las decisiones tomadas.
- **Documentación y acceso a las decisiones:** El proceso de desarrollo y las decisiones automatizadas deben estar debidamente documentadas, permitiendo auditorías independientes y garantizando la confianza de la comunidad en el uso del modelo.

3.3. Aspectos Regulatorios:

- **Cumplimiento con regulaciones locales:** Dado que el modelo trabaja con datos de infraestructuras de agua en Tanzania, debe cumplir con las leyes y regulaciones locales relacionadas con la protección de datos y la gestión de infraestructuras críticas. Es posible que se requiera la consulta con entidades regulatorias locales para garantizar que el modelo cumpla con las normativas vigentes en cuanto al uso de datos y la toma de decisiones automatizada.

3.4. Responsabilidad Social:

- **Impacto a largo plazo:** El uso de IA en la predicción del estado de las bombas de agua debe estar alineado con un enfoque de desarrollo sostenible, ayudando a las autoridades a tomar decisiones más informadas que beneficien a las comunidades locales en el largo plazo.

4. Enfoque analítico

Debido a que el objetivo general del problema es predecir el estado de los pozos y que contamos con data tabular etiquetada, la exploración y limpieza de los datos se basará primero en la clase objetivo (faltantes, outliers, etc) y posteriormente en identificar variables relevantes para la clasificación. Para lograr esto utilizaremos análisis univariado buscando filtrar constantes, variables con muy poca varianza y variables únicas como nombres o identificadores. Estas variables se descartarán del análisis y el modelo pues no tienen incidencia en la variable objetivo.

Una vez realizada esta primera limpieza de los datos, iniciaremos la exploración de los datos para identificar correlaciones, tendencias y posibles variables derivadas de las existentes que puedan enriquecer el análisis, sobre estas variables seleccionadas tomaremos estrategias para reemplazar datos atípicos y vacíos para garantizar la calidad de los datos seleccionadas. Las herramientas que usaremos para esto son indicadores como: % nulos o vacíos, # distintos, valores mínimo y máximo y técnicas de visualización de la distribución como Boxplots, violinplots, barcharts y scatterplots, y mapas geográficos.

Una vez realizado el análisis preliminar de los datos y la limpieza de los mismos desarrollaremos el modelo de clasificación, para esto iniciaremos entrenando modelos sencillos como k-nn, árboles y svn antes de métodos de ensamble como random forest o gradient boosting. Todos estos se entrenarán y evaluarán utilizando validación cruzada, el dataset contiene cerca de 59.000 registros por lo que habrá que encontrar un número de folds sensato para la complejidad de los algoritmos.

5. Recolección de datos

Los datos por trabajar en el proyecto provienen de los dashboards de puntos de agua de Taarifa, empresa tercerizada encargada de unificar los datos del Ministerio del Agua de Tanzania. El diccionario de este y sus comentarios se encuentra en el documento *Pumps_diccionary.xlsx*. Adicional a esto se plantea para próximos avances el uso de información como el clima por región o el ingreso per cápita por región como variables que pudieran aportar al modelo final.

6. Entendimiento de los datos

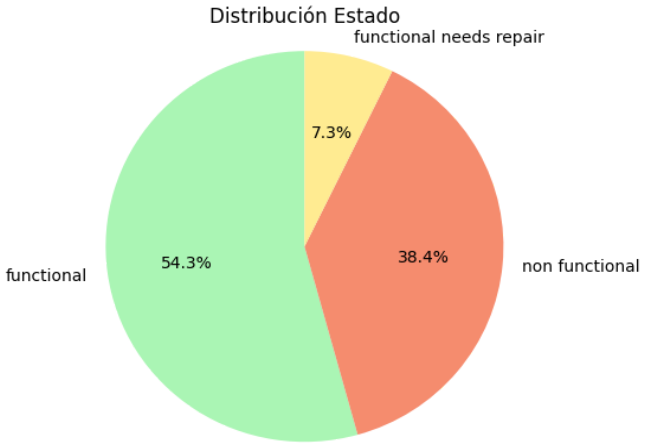
Cómo se mencionó anteriormente la principal fuente de información proviene de datos registrados por el gobierno de Tanzania. Este dataset consta de 59.400 registros y de 40 campos, incluida la variable objetivo, de los cuales 32 son variables categóricas y 8 cuantitativas.

Se realizó el análisis de cada una de las variables y de las 40 iniciales, 20 fueron escogidas cómo útiles. En el diccionario de datos *Pumps_diccionary.xlsx* se pueden ver el detalle de las variables y la razón de por qué fueron descartadas.

6.1. Análisis Univariado

A continuación, explicamos los análisis univariados y multivariados más relevantes, si desea revisarlos, estos están disponibles en los notebooks del repositorio de github.

Status group (variable objetivo)
Es la variable objetivo del proyecto, cómo se menciona al inicio del reporte está distribuida en 3 categorías: funcional, funcional pero necesita reparaciones y no funcional.

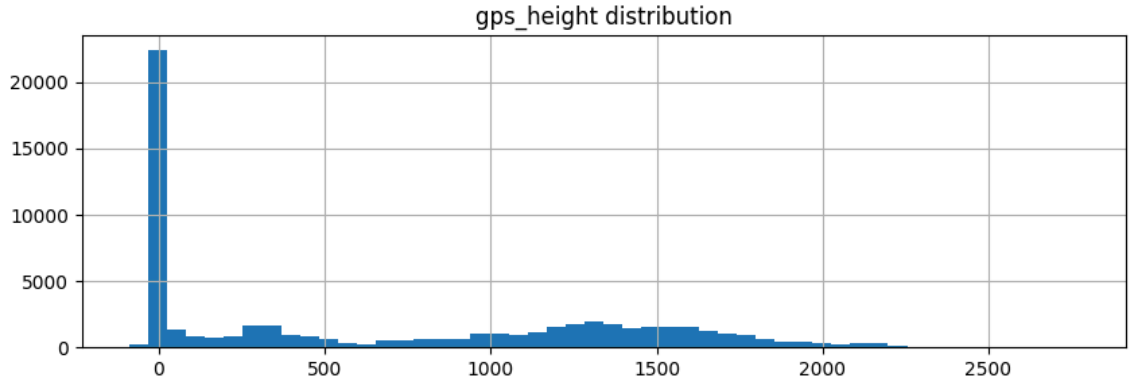


Esta se encuentra desbalanceada ya que la categoría **funcional pero necesita reparaciones** solo representa el 7.3% del dataset.

Amount_tsh
Es una variable cuantitativa continua. Esta presenta múltiples dificultades ya que no es claro su significado ni su unidad de medida, dentro de la descripción mencionan el "Total static head" que parece ser una medida de presión, pero al mismo tiempo mencionan que es la cantidad de agua disponible en el punto de agua lo cual no es coherente.

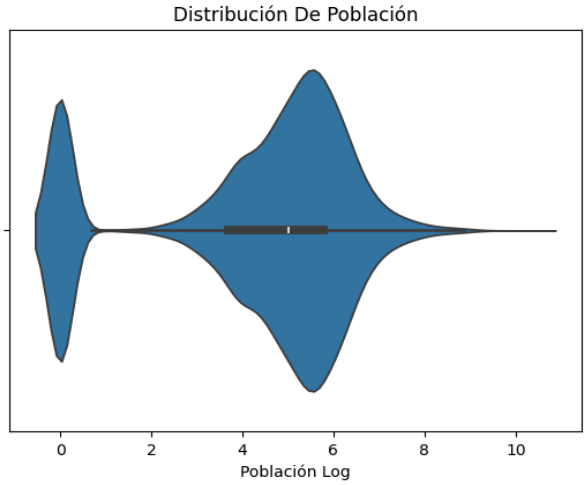
Adicionalmente, pareciera no tener una buena calidad ya que el 70% de los datos tiene valor de 0, por lo que posee un skewness de 57, y presenta outliers con valores superiores a 100.000.

Gps_height



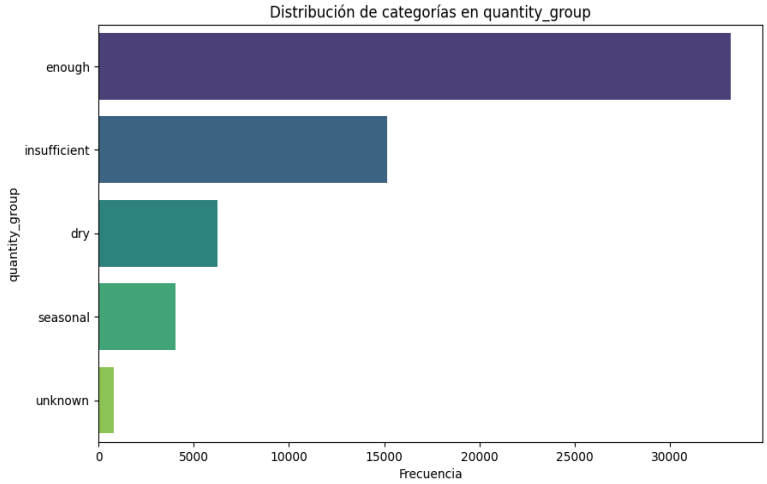
Variable cuantitativa continua que representa la altura a la cual se ubica el pozo. Tiene como valor mínimo -90 y máximo 2770 metros. El 34% de los datos se encuentra con valor de 0.

Población



La variable población tiene una muy alta tasa de ceros y valores pequeños, por esta razón utilizamos la escala logarítmica, pues las ciudades grandes hacen que la distribución tenga una cola larga. En este caso usaremos la variable, pero debemos interpolar los ceros, para esto haremos uso de medidas de distancia y asignaremos el promedio de N vecinos.

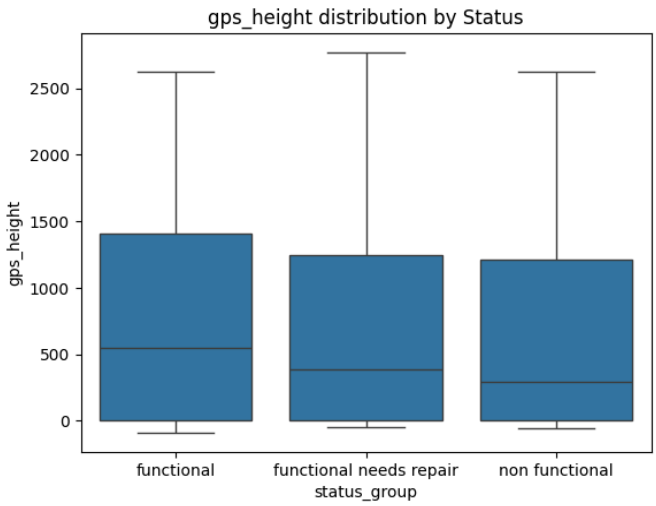
Quantity



La variable quantity tiene 59 mil registros y sin valores nulos, lo cual es bastante bueno para el análisis. Solo maneja 5 grupos dentro de los cuales el más común es el “enough” el cual muestra que la mayoría de los pozos en Tanzania están con buena cantidad de agua. Hay unos pozos desconocidos de la cantidad de agua que corresponde al 1.3% de los datos. Es necesario darle manejo posteriormente.

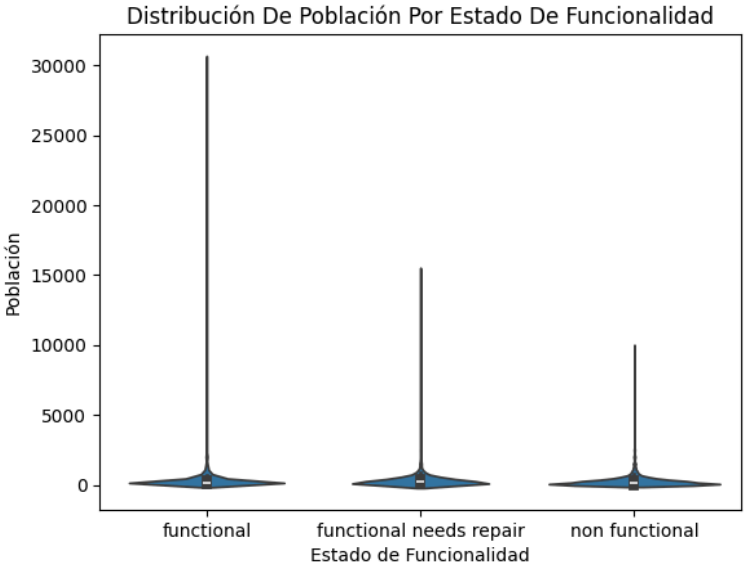
6.2. Análisis Multivariado

Altura gps vs Estado



Se puede observar una clara tendencia que los pozos que no son funcionales tienen en promedio una menor altura respecto a los pozos funcionales. Esto debe deberse a una tercera variable no conocida relacionada con las anteriores como por ejemplo el clima de las zonas más bajas del país.

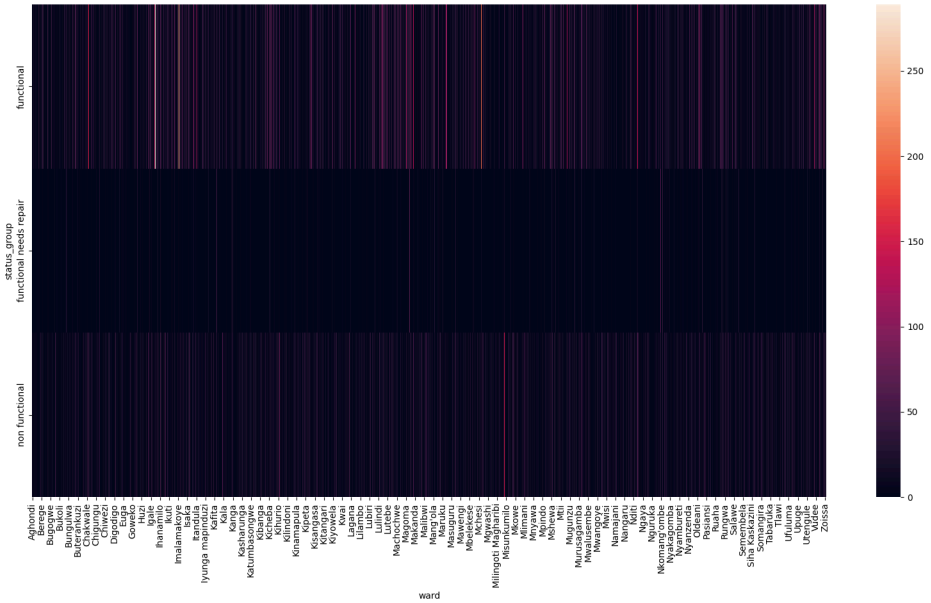
Población vs Estado



Al comparar la variable objetivo con la distribución de la población podemos observar que las distribuciones tienen colas largas, pero las poblaciones más altas, se encuentran en el grupo funcional, y las más pequeñas en el grupo no funcional, lo que indica que la cantidad de población está relacionada con el grupo funcional.

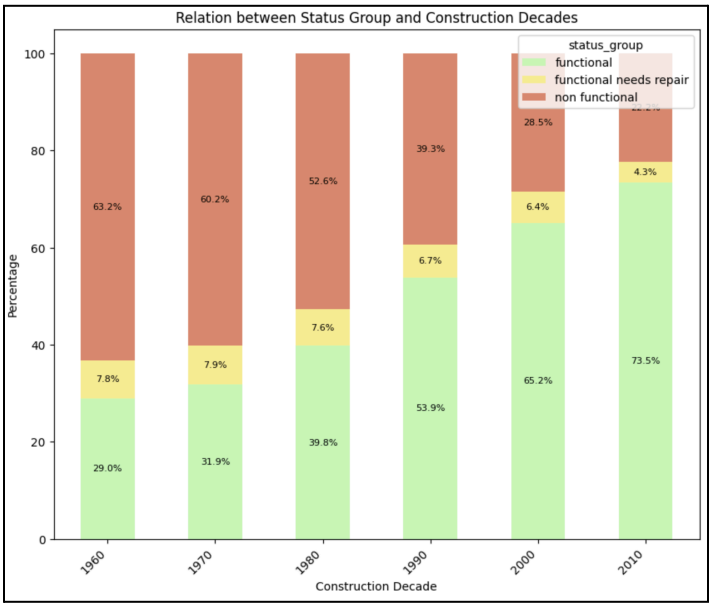
Esto también se evidencia en la agrupación de funcionales y no funcionales en el mapa donde existe un patrón de mayores pozos funcionales cerca a grandes centros poblacionales y por el contrario muchos no funcionales en zonas rurales o apartadas del país.

Ward vs Estado



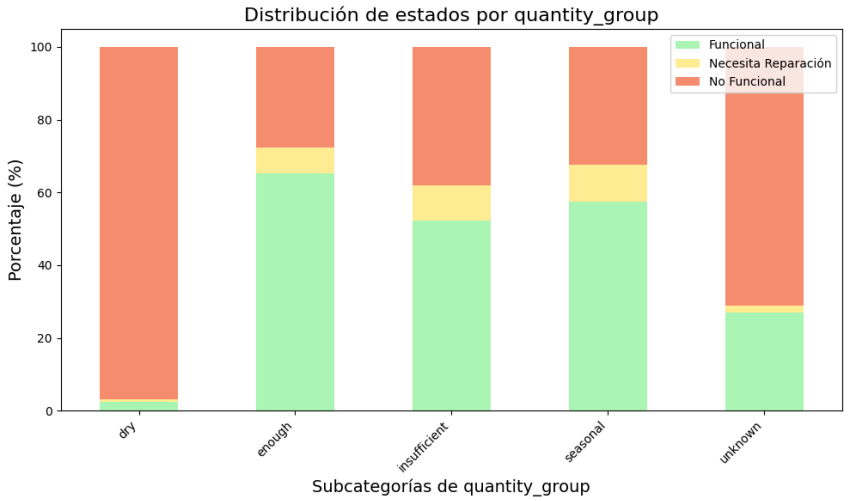
Debido a que el ward es una medida con alta granularidad, es más sencillo visualizarla por colores, acá se puede observar como algunos ward se concentraron en el grupo funcional y otros en el no funcional.

Año de construcción vs Estado



Se puede observar que, al comparar el estado con el año de construcción de las bombas, hay una tendencia incremental del número de bombas en estado funcional con el paso del tiempo. Las bombas nuevas cumplen con normas de calidad más estrictas, requieren menos mantenimiento y están mejor protegidas contra la corrosión y la obstrucción, lo que las hace más confiables y menos propensas a fallos en comparación con las bombas más antiguas.

Cantidad de Agua vs Estado



La tendencia muestra que las bombas tienden a sufrir daños cuando la fuente de agua se queda sin suministro. Esto ocurre porque las bombas requieren un flujo constante de agua para funcionar correctamente; al quedarse sin agua, experimentan fricción y sobrecalentamiento, lo que acelera su desgaste y puede llevar a fallos o daños graves.

7. Conclusiones iniciales

- Se va a desarrollar un modelo de clasificación robusto, como Random Forest o Gradient Boosting, para priorizar el mantenimiento preventivo de los pozos.
- Es fundamental priorizar la precisión del modelo para optimizar recursos, asegurando que los pozos identificados para reparación realmente lo necesiten, dada la importancia del transporte y la asignación de recursos en Tanzania.
- El análisis de cobertura de agua muestra gran variabilidad geográfica: 49% en zonas rurales, 86% en áreas urbanas y 98% en Zanzíbar, destacando la necesidad de un modelo que adapte patrones según la región para priorizar intervenciones.
- Los pozos funcionales tienden a estar ubicados a mayor altura, es necesario encontrar la razón por la cual esto sucede para tenerlo en cuenta en el modelo final.
- Los pozos en áreas de mayor densidad poblacional suelen estar en mejor estado, probablemente por una mayor asignación de recursos. Esto indica la necesidad de ajustar el modelo para considerar la densidad poblacional y priorizar áreas de baja densidad, donde hay mayor riesgo de fallos.
- Las bombas más antiguas tienen mayor probabilidad de ser no funcionales, lo que subraya la necesidad de actualizar infraestructuras.

Siguientes pasos:

- Revisar la colinealidad entre variables y eliminar o combinar aquellas redundantes para mejorar la eficiencia del modelo.
- Probar modelos de clasificación como Random Forest y Gradient Boosting para comparar resultados y seleccionar los más prometedores.
- Explorar variables externas, como datos climáticos y de ingresos regionales, para mejorar la precisión del modelo en distintas zonas.
- Crear y ajustar nuevas características que puedan añadir valor predictivo (Feature Engineering).

Referencias

- Programu. (n.d.). The United Republic of Tanzania Ministry of Water. Retrieved October 2, 2024, from https://www.maji.go.tz/pages/programme. Accessed 22 October 2024.
- Population. (2024, July 11). Our World in Data. https://ourworldindata.org/grapher/population-unwpp?facet=none&country=TZA~COL
- Tanzania Demographic and Health Survey and Malaria Indicator Survey (TDHSMIS), 2015–2016; SNV, WaterAid and UNICEF, School WASH Mapping in 16 districts, 2010; National Bureau of Statistics (NBS) et al., Tanzania Service Provision Assessment Survey 2014–2015, 2016; Benova et al., *Where there is no toilet*, 2014
- Mittelstadt, B. D., Allo, P., Taddeo, M., Wachter, S., & Floridi, L. (2016). The ethics of algorithms: Mapping the debate. Big Data & Society.
- Floridi, L., & Taddeo, M. (2016). What is data ethics? Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences.