



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO ANÁLISIS Y POTABILIZACIÓN DE LOS RECURSOS DE AGUA EN NYUMBANI, KENIA

Autor: Bruno López de Carrizosa Ruiz de Alda

Director: Miguel Ríaza Moreno

Codirector: María del Mar Cledera Castro

Madrid

Agosto 2023

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

Análisis y Potabilización de los recursos de agua en Nyumbani, Kenia

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2022/2023 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Bruno López de Carrizosa Fecha: 29/ 08/ 2023



Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Miguel Rianza Moreno Fecha: 29/ 08/ 2023



Fdo.: María del Mar Cledera Castro Fecha: 30/ 08/ 2023





GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO ANÁLISIS Y POTABILIZACIÓN DE LOS RECURSOS DE AGUA EN NYUMBANI, KENIA

Autor: Bruno López de Carrizosa Ruiz de Alda

Director: Miguel Rianza Moreno

Codirector: María del Mar Cledera Castro

Madrid

Agosto 2023

Agradecimientos

Quiero aprovechar esta sección para hacer un agradecimiento especial a Miguel Ríaza Moreno y María del Mar Cledera Castro, por su asesoramiento, apoyo y conocimiento que han hecho posible la realización de este proyecto.

También a Comillas Solidaria y al programa Vuela, por facilitar la opción de ir un mes a Kenia a certificar la viabilidad del proyecto.

ANÁLISIS Y POTABILIZACIÓN DE LOS RECURSOS DE AGUA EN NYUMBANI, KENIA

Autor: Bruno López de Carrizosa Ruiz de Alda

Director: Miguel Rianza Moreno

Codirector: María del Mar Cledera Castro

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad pontificia de Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

1. Introducción y motivación

Este proyecto tiene como objetivo mejorar la calidad del agua disponible en la región de Nyumbani, una de las zonas más pobres y afectadas por la escasez de agua en Kenia. El proyecto se enfocará en la realización de un análisis exhaustivo de los recursos hídricos locales y en la implementación de sistemas de potabilización sostenibles para garantizar el acceso a agua limpia y segura para la población. Con este proyecto se espera contribuir al mejoramiento de las condiciones de vida de las comunidades de Nyumbani y promover la equidad en el acceso al agua potable.

Nyumbani es una aldea situada en la provincia de Kitui en Kenia, que actualmente se encuentra en pleno desarrollo y en la que se están llevando a cabo proyectos de iluminación, educación y agricultura.

A pesar de ello, he decidido escoger este proyecto de fin de grado ya que ofrece la oportunidad de mejorar la calidad de vida de los mil niños huérfanos que viven en Nyumbani, y de contribuir al desarrollo sostenible. Además, participar en el proyecto puede brindar la oportunidad de aprender habilidades útiles y fomentar la colaboración y el entendimiento intercultural.

2. Definición del proyecto

En Nyumbani actualmente existen dos fuentes primarias de agua para consumo humano, una son los pozos y la otra son tanques de agua llenados con la lluvia. En este proyecto diseñaremos una ETAP (Estación de tratamiento de Agua Potable) para potabilizar el agua de los pozos, y un filtro de carbón activo para el agua de los tanques.

A la hora de diseñar ambos sistemas de potabilización es importante tener en cuenta las limitaciones que ofrece Nyumbani. Al estar situado en una zona geográfica muy poco

desarrollada, habrá que implementar unos sistemas de potabilización que no requieran un mantenimiento muy complejo, ni un coste muy elevado.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

Para poder diseñar el tratamiento más adecuado posible, primero debemos analizar el agua de los pozos de Nyumbani. Para ello trajimos una muestra hasta el laboratorio de ICAI, donde hicimos diferentes ensayos. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Parámetros	Unidad	Medida
Conductividad a 20 °C	μS/cm	4 150
pH		6,72
Oxígeno disuelto	% saturación	93
Nitratos	mg/L	19
Amonio	mg/L	low
Fosfatos	mg/L	20,4
Sulfatos	mg/L	101
Cloruros	mg/L	1022,4

Tabla 1. Resultados de los análisis (Imagen de elaboración propia)

El nivel de calidad del agua era aceptable, sin embargo, vimos que el agua del pozo presentaba un alto contenido en sales, lo cual puede ser perjudicial para la salud a largo plazo.

En función de los resultados de los ensayos y los proyectos de potabilización realizados en la zona central de África, hemos diseñado tres opciones diferentes para la ETAP. Ambas tendrán una primera etapa de pretratamiento, donde el diseño incluirá una reja fina de desbaste, una segunda etapa de tratamiento estándar, que será diferente para cada uno de los tres casos, y una tercera etapa de desinfección por cloración.

La primera se asemeja a otros proyectos de potabilización realizados en la zona, o en zonas de recursos similares a Nyumbani. El tratamiento estándar incluirá una etapa de CFD y otra de filtración por arena, que serán comunes en los tres casos. La etapa de CFD propuesta es la siguiente:

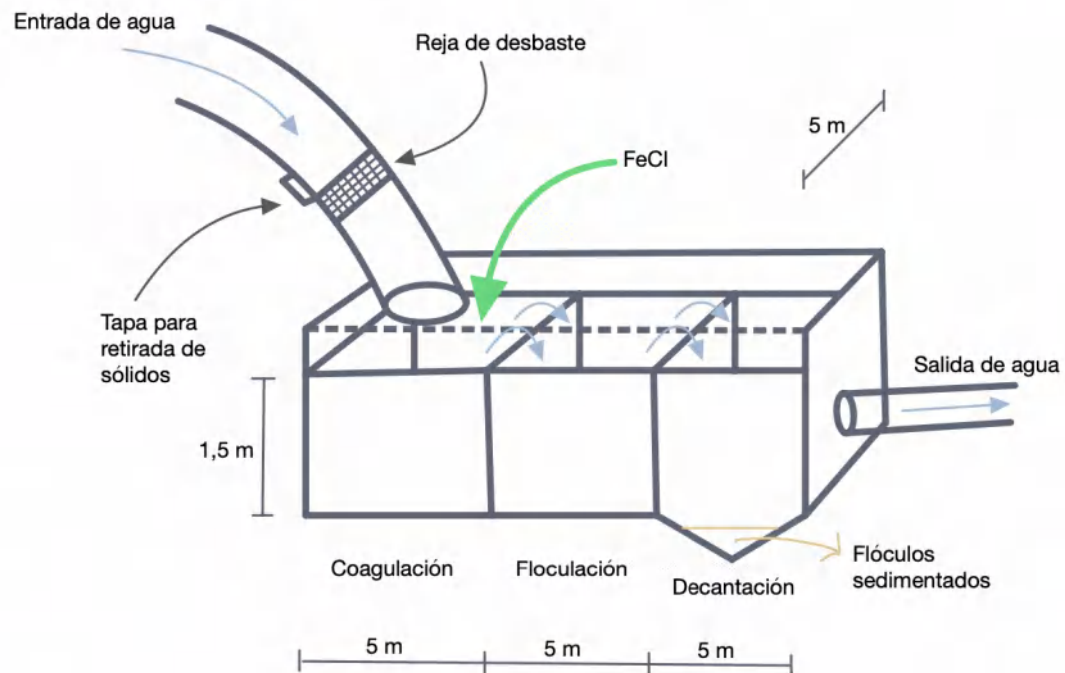


Ilustración 1. Esquema de construcción de la ETAP (Imagen de elaboración propia)

El coagulante utilizado será el cloruro de hierro, que ayudará a reducir el nivel de sales presente en el agua.

La etapa de filtración será de filtración por arena, ya que en Nyumbani ya cuentan con filtros de barro que utilizan para purificar el agua.



La segunda opción para la ETAP es la de incluir una etapa de osmosis inversa, con el fin de eliminar más eficazmente las sales presentes en el agua. Añadir esta etapa elevaría el coste total, y se usaría un sistema de Saset que se puede comprar directamente en Kenia.

Ilustración 2. Filtros de osmosis inversa (Saset, 2023)

La tercera opción, es la de implementar una etapa de resinas de intercambio iónico. Esta opción, pese a ser igual de eficaz y tener un coste menos que la anterior. Es más difícil de implementar debido a la escasez de este tipo de tecnología en Kenia.

Para los filtros de carbón activado, también hay tres diseños diferentes. La primera opción consiste en centralizar toda el agua recogida de la lluvia, para purificarla usando un único filtro como el de la siguiente imagen:



Ilustración 3. Filtro de carbón activado (Saset, 2023)

Este filtro también es de Saset, por lo que se podría adquirir directamente en Kenia. Para usar esta opción, habría que diseñar una nueva red que permita centralizar toda el agua de los tanques y posteriormente distribuirla.

La siguiente opción, es construir filtros de carbón activado individuales para cada tanque a partir de los recursos naturales y madera que tienen en Nyumbani. Conseguir el carbón activado es un proceso largo, pero el resultado final sería algo similar a lo que se puede ver en la imagen:



Ilustración 4. Esquema de filtro de carbón activado (Google, s.f.)

La última y tercera opción, es comprar filtros de carbón activado para grifos. Los tanques de agua cuentan con grifos, por lo que sólo habría que instalar el filtro de carbón a la salida del grifo de cada uno de los tanques. Estos filtros también se pueden adquirir en Kenia, y son como los de la siguiente imagen:



Ilustración 5. Filtro de carbón activado (Jumia, 2023)

4. Conclusiones y resultados

Para poder concluir con certeza cuál de los tres diseños de la ETAP sería el más adecuado, sería muy útil tener un análisis de la calidad de agua final de cada una de las tres opciones. De esta forma se podría valorar de forma más exacta y con más datos, la mejor opción teniendo en cuenta tanto el precio como el mantenimiento, como la calidad final de agua.

Pero aún sin los análisis, podemos concluir que, de los tres diseños de la ETAP, el primero es el más barato y viable, y nos asegura cumplir con los requisitos impuestos de calidad para el consumo de agua en Kenia. Estos requisitos se pueden ver en la siguiente imagen:

Parameter	Guide Value (max allowable)
pH	6.5 – 8.5
Suspended solids	30 (mg/L)
Nitrate-NO ₃	10 (mg/L)
Ammonia –NH ₃	0.5 (mg/L)
Nitrite –NO ₂	3 (mg/L)
Total Dissolved Solids	1200 (mg/L)
Scientific name (<i>E.coli</i>)	Nil/100 ml
Fluoride	1.5 (mg/L)
Phenols	Nil (mg/L)
Arsenic	0.01 (mg/L)
Cadmium	0.01 (mg/L)
Lead	0.05 (mg/L)
Selenium	0.01 (mg/L)
Copper	0.05 (mg/L)
Zinc	1.5 (mg/L)
Alkyl benzyl sulphonates	0.5 (mg/L)
Permanganate value (PV)	1.0 (mg/L)

Nil means less than limit of detection using prescribed sampling and analytical methods and equipment as determined by the Authority.

Tabla 2. Calidad de agua exigida (Ley de Kenia, 2006)

El nivel de algunas sales en el agua seguiría siendo elevado si usamos esta primera opción. Por eso hemos propuesto dos opciones más, donde conseguiríamos una calidad final de agua mayor que cumpliría con los requisitos de calidad de países más estrictos como por ejemplo España. También hay que valorar, que subiría el coste total de la ETAP, y el mantenimiento de los equipos requeriría mayor atención.

En cuanto a los filtros de carbón activado la decisión es más sencilla. La primera opción tiene la ventaja de tener que usar un único filtro. Pero es la más cara y sería necesaria una red de distribución que nos permita reunir el agua para pasarla por el filtro, y posteriormente distribuirla.

La segunda y tercera opción consisten en poner un filtro de carbón activado individual para cada tanque. El mantenimiento sería prácticamente nulo, pero habría que cambiar los filtros a medida que estos fueran perdiendo efectividad. La diferencia entre la segunda y la tercera propuesta es que una de ellas es la de construir el filtro a partir de recursos naturales, y otra es comprar los filtros ya fabricados.

5. Referencias

- [1] Boletín oficial del estado [RD 927/1988 de 29 de julio].
Recuperado el 23 de abril de 2023.

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1988-20883>

- [2] Saset. Compra de filtro de osmosis inversa.
<https://www.saset.co.ke/product/reverse-osmosis-system-for-high-fluoride-tds/>
- [3] Obtención de carbón activado a partir de madera (Universidad nacional de Cuyo, 2013).
https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/7742/obtencion-de-carbon-activado-a-partir-de-madera.pdf
- [4] Saset. Compra de filtro de osmosis inversa.
<https://www.saset.co.ke/product/reverse-osmosis-system-for-high-fluoride-tds/>
- [5] Republic of Kenya, Environmental management, and co-ordination (water quality) regulations, 2006.
Recuperado el 28 de abril de 2023.
[https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC084962/#:~:text=Kenya-Environmental%20Management%20and%20Coordination%20\(Water%20Quality\)%20Regulations%2C%202006%20\(,and%20define%20water%20quality%20standards.](https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC084962/#:~:text=Kenya-Environmental%20Management%20and%20Coordination%20(Water%20Quality)%20Regulations%2C%202006%20(,and%20define%20water%20quality%20standards.)

ANALYSIS AND PURIFICATION OF WATER RESOURCES IN NYUMBANI, KENYA

Author: Bruno López de Carrizosa Ruiz de Alda

Supervisor: Miguel Riaza Moreno

Cosupervisor: María del Mar Cledera Castro

Collaborating Entity: ICAI – Universidad pontificia de Comillas

ABSTRACT

1. Introduction and motivation

This project aims to improve the quality of water available in the Nyumbani region, one of the poorest and most water-stressed areas in Kenya. The project will focus on a comprehensive analysis of local water resources and the implementation of sustainable water purification systems to ensure access to clean and safe water for the population. This project is expected to contribute to the improvement of the living conditions of Nyumbani's communities and promote equity in access to safe drinking water.

Nyumbani is a village located in the Kitui province of Kenya, which is currently under development and where lighting, education and agricultural projects are being carried out.

Despite this, I have decided to choose this final year project as it offers the opportunity to improve the quality of life of the 1,000 orphaned children living in Nyumbani, and to contribute to sustainable development. In addition, participating in the project can provide an opportunity to learn useful skills and foster collaboration and intercultural understanding.

2. Definition of the project

In Nyumbani there are currently two primary sources of water for human consumption, one being boreholes and the other rain-filled water tanks. In this project we will design a DWTP (Drinking Water Treatment Plant) to make the water from the borehole's drinkable, and an activated carbon filter for the water from the tanks.

When designing both water treatment systems, it is important to take into account the constraints that Nyumbani offers. As Nyumbani is in a very undeveloped geographical area, it will be necessary to implement drinking water treatment systems that do not require very complex maintenance or very high costs.

3. Description of tools/systems used

To design the most appropriate treatment possible, we must first analyse the water from the boreholes in Nyumbani. To do this, we brought a sample to the ICAI laboratory, where we carried out various tests. The results were as follows:

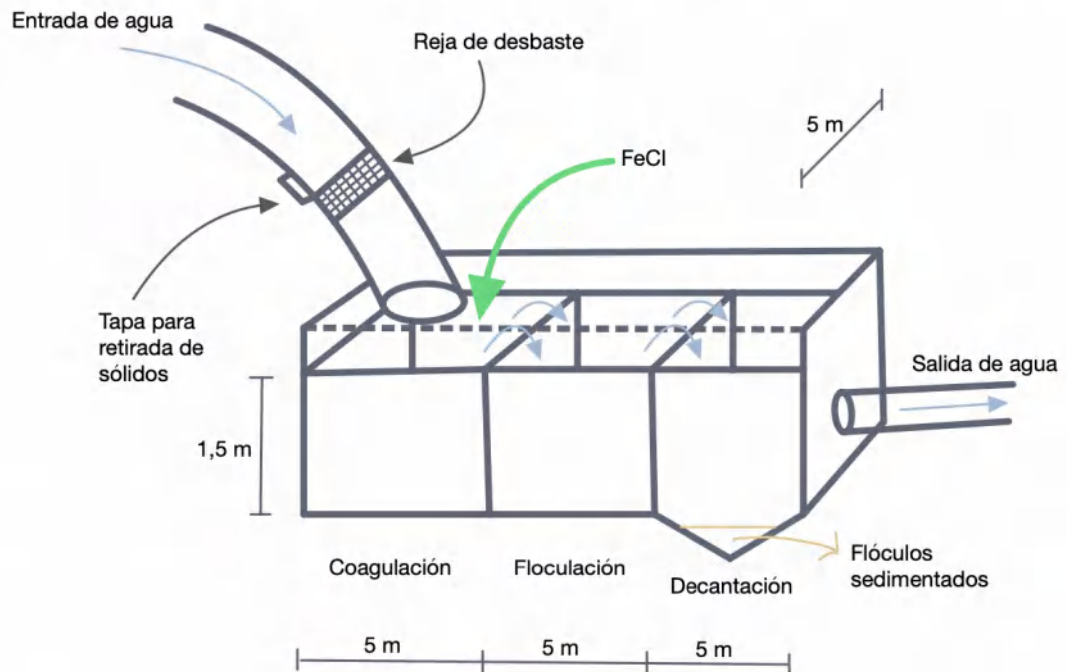
Parámetros	Unidad	Medida
Conductividad a 20 °C	µS/cm	4 150
pH		6,72
Oxígeno disuelto	% saturación	93
Nitratos	mg/L	19
Amonio	mg/L	low
Fosfatos	mg/L	20,4
Sulfatos	mg/L	101
Cloruros	mg/L	1022,4

Graphic 1. Analysis Results (Own elaboration)

The water quality level was acceptable, however, we found that the borehole water had a high salt content, which can be harmful to health in the long term.

Based on the results of the tests and the water purification projects in Central Africa, we have designed three different options for the DWTP. Both will have a first pre-treatment stage, where the design will include a fine roughing screen, a second stage of standard treatment, which will be different for each of the three cases, and a third stage of chlorination disinfection.

The first option is like other water treatment projects in the area, or in resource areas similar to Nyumbani. The standard treatment will include a CFD stage and a sand filtration stage, which will be common in all three cases. The proposed CFD stage is as follows:



Graphic 2. DWTP construction (own elaboration)

The coagulant used will be iron chloride, which will help reduce the level of salts present in the water.

The filtration stage will be sand filtration, as Nyumbani already has mud filters that they use to purify the water.



Graphic 3. Reverse osmosis system (Saset, 2023)

The second option for the DWTP is to include a reverse osmosis stage, to remove the salts more effectively, present in the water. Adding this stage would increase the overall cost and would use a system from Saset that can be purchased directly from Kenya.

The third option is to implement an ion exchange resin stage. This option, although equally effective and less costly than the previous one, is more difficult to implement due to the high cost. It is more difficult to implement due to the scarcity of this type of technology in Kenya.

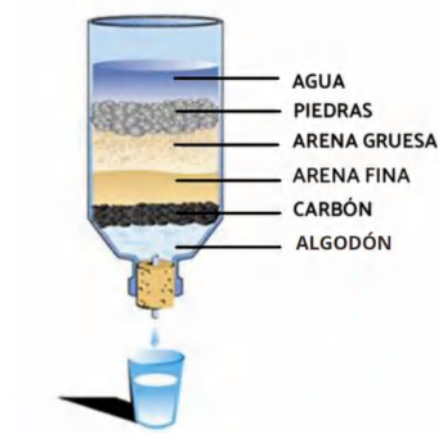
For activated carbon filters, there are also three different designs. The first option is to centralize all the water collected from the rain, to purify it using a single filter like the one in the picture below:



Graphic 4. Carbon filter (Saset, 2023)

This filter is also from Saset, so it could be purchased directly from Kenya. To use this option, a new network would have to be designed to centralize all the water from the tanks and then distribute it.

The next option is to build individual activated carbon filters for each tank from the natural resources and wood they have in Nyumbani. Getting the activated carbon is a long process, but the result would be something like what you can see in the picture:



Graphic 5. Carbon filter (Google, s.f.)

The last and third option is to buy activated carbon filters for taps. The water tanks are fitted with taps, so you only need to install the charcoal filter at the tap outlet of each of the tanks. These filters are also available in Kenya, and look like the ones in the picture below:



Graphic 6. Jumia carbon filters (Jumia, 2023)

4. Results and conclusions

To be able to conclude with certainty which of the three DWTP designs would be the most suitable, it would be very useful to have an analysis of the final water quality of each of the three options. In this way it would be possible to assess more accurately and with more data, the best option, considering both price and maintenance, as well as final water quality.

But even without the analyses, we can conclude that, of the three DWTP designs, the first is the cheapest and most feasible, and ensures that we meet the water quality requirements for drinking water in Kenya. These requirements can be seen in the following image:

Parameter	Guide Value (max allowable)
pH	6.5 – 8.5
Suspended solids	30 (mg/L)
Nitrate-NO ₃	10 (mg/L)
Ammonia –NH ₃	0.5 (mg/L)
Nitrite –NO ₂	3 (mg/L)
Total Dissolved Solids	1200 (mg/L)
Scientific name (<i>E.coli</i>)	Nil/100 ml
Fluoride	1.5 (mg/L)
Phenols	Nil (mg/L)
Arsenic	0.01 (mg/L)
Cadmium	0.01 (mg/L)
Lead	0.05 (mg/L)
Selenium	0.01 (mg/L)
Copper	0.05 (mg/L)
Zinc	1.5 (mg/L)
Alkyl benzyl sulphonates	0.5 (mg/L)
Permanganate value (PV)	1.0 (mg/L)

Nil means less than limit of detection using prescribed sampling and analytical methods and equipment as determined by the Authority.

Graphic 7. Water quality standards (Kenia, 2006)

The level of some salts in the water would still be high if we use this first option. That is why we have proposed two other options, where we would achieve a higher final water quality that would meet the quality requirements of stricter countries such as Spain. It should also be considered that the total cost of the DWTP would increase, and the maintenance of the equipment would require more attention.

As far as activated carbon filters are concerned, the decision is simpler. The first option has the advantage of having to use a single filter. However, it is the most expensive and would require a distribution network to collect the water to pass through the filter and then distribute it.

The second and third options are to install an individual activated carbon filter for each tank. Maintenance would be practically nil, but the filters would have to be changed as they become less effective. The difference between the second and third proposals is that one is to build the filter from natural resources, and the other is to buy the filters already made.

5. References

- [6] Boletín oficial del estado [RD 927/1988 de 29 de julio].
Recuperado el 23 de abril de 2023.
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1988-20883>
- [7] Saset. Compra de filtro de osmosis inversa.
<https://www.saset.co.ke/product/reverse-osmosis-system-for-high-fluoride-tds/>
- [8] Obtención de carbón activado a partir de madera (Universidad nacional de Cuyo, 2013).
https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/7742/obtencion-de-carbon-activado-a-partir-de-madera.pdf
- [9] Saset. Compra de filtro de osmosis inversa.
<https://www.saset.co.ke/product/reverse-osmosis-system-for-high-fluoride-tds/>
- [10] Republic of Kenya, Environmental management, and co-ordination (water quality) regulations, 2006.
Recuperado el 28 de abril de 2023.
[https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC084962/#:~:text=Kenya-Environmental%20Management%20and%20Coordination%20\(Water%20Quality\)%20Regulations%2C%202006%20\(,and%20define%20water%20quality%20standards.](https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC084962/#:~:text=Kenya-Environmental%20Management%20and%20Coordination%20(Water%20Quality)%20Regulations%2C%202006%20(,and%20define%20water%20quality%20standards.)

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	6
1.1 Resumen y objetivos del proyecto	6
1.2 Alineación con objetivos de desarrollo sostenible	8
1.3 Motivación para el proyecto.....	9
1.4 Descripción de la situación actual.....	10
1.4.1 Mapa de los recursos de agua.....	12
1.4.2 Descripción de los pozos.....	14
1.4.3 Descripción de los shallow wells	23
1.4.4 Descripción de los bidones de agua.....	24
1.4.5 Descripción de los embalses	25
Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías.....	26
2.1 Descripción de una ETAP.....	26
2.2 Descripción de un filtro de carbón activado	28
Capítulo 3. Estado de la Cuestión	30
Capítulo 4. Análisis del agua	35
4.1 medida de la conductividad.....	35
4.2 medida del pH	35
4.3 medida del oxígeno disuelto.....	36
4.4 determinación de las sales inorgánicas	36
4.4.1 Medida de cloruros	36
4.4.2 Medida de nitratos	37
4.4.3 Medida de amonio.....	37
4.4.4 Medida de fosfatos	38
4.4.5 Medida de sulfatos	38
4.5 Resultados	38
Capítulo 5. Sistemas Desarrollados	42
5.1 Diseño de la ETAP.....	42
5.1.1 Tratamiento simple.....	42
5.1.2 Tratamiento con osmosis inversa.....	50

5.1.3 Tratamiento con resinas de intercambio iónico.....	52
5.1.4 Comparación entre los tres procesos.....	53
5.2 Diseño del filtro de carbón activado	53
5.2.1 Filtro de carbón único.....	53
5.2.2 Filtro de carbón a partir de recursos naturales	55
5.2.3 Filtros de carbón para llaves de paso.....	59
5.2.4 Comparación entre los diferentes filtros.....	60
Capítulo 6. Conclusiones y Trabajos Futuros.....	61
6.1 Conclusiones de la etap y filtros de carbón activado	61
6.2 Posibles trabajos futuros	62
Capítulo 7. Bibliografía.....	65
ANEXO I.....	68
ANEXO II... ..	71

Índice de figuras

Ilustración 6. Ubicación de Nyumbani (Google, s.f.).....	6
Ilustración 7. Objetivos de desarrollo sostenible (SAS, 2023).....	9
Ilustración 8. Gráfico de temperatura y precipitaciones en Kitui (Meteoblue, 2023)	11
Ilustración 9. Mapa de los recursos de agua en Nyumbani (Imagen de elaboración propia)	12
Ilustración 10. Mapa de los clusters de Nyumbani (Jesús López-Varela, 2022).....	14
Ilustración 11. Pozo 1 (Imagen de elaboración propia).....	15
Ilustración 12. Válvula del pozo 1 (Imagen de elaboración propia)	16
Ilustración 13. Tanque 1 (Imagen de elaboración propia).....	17
Ilustración 14. Instalación de la bomba del tanque 1 (Imagen de elaboración propia)	17
Ilustración 15. Tanque 2 (Imagen de elaboración propia).....	18
Ilustración 16. Pozo 2 (Imagen de elaboración propia).....	19
Ilustración 17. Pozo 3 (Imagen de elaboración propia).....	20
Ilustración 18. Pozo 4 (Imagen de elaboración propia).....	21
Ilustración 19. Paneles solares para energía de las bombas (Imagen de elaboración propia)	22
Ilustración 20. Shallow Wells (Imagen de elaboración propia)	23
Ilustración 21. Bidón de recogida de agua de lluvia (Imagen de elaboración propia)	24
Ilustración 22. Embalses de Nyumbani (Imagen de elaboración propia).....	25
Ilustración 23. Esquema general de una ETAP (Ceupe, 2023)	28
Ilustración 24. Esquema de la ETAP (Inés Valero, 2015).....	31
Ilustración 25. Esquema de la ETAP (Víctor López-Grimau y Beatriz Amante, 2011)	31
Ilustración 26. Comparativa de temperaturas entre Burkina Faso y Benín (DatosMundial, 2023).....	32
Ilustración 27. Comparativa de precipitaciones entre Burkina Faso y Benín (DatosMundial, 2023).....	33
Ilustración 28. Filtro de arena (Filtración de arena para la potabilización de agua en san José de Playón, 2017).....	34

Ilustración 29. Resultados análisis de agua (Labo-red).....	40
Ilustración 30. Esquema de la ETAP I (Imagen de elaboración propia)	42
Ilustración 31. Agitador de agua (Google, s.f)	45
Ilustración 32. Prroceso de floculación y decantación (Lifeder, 2023).....	45
Ilustración 33. Esquema del proceso de CFD (ResearchGate, 2023).....	46
Ilustración 34. Construcción de la ETAP (Imagen de elaboración propia).....	47
Ilustración 35. Gráfica de demanda de cloro (Transparencias Ingeniería Medioambiental ICAI, 2023).....	49
Ilustración 36. Esquema de la ETAP II (Imagen de elaboración propia).....	50
Ilustración 37. Filtro de osmosis inversa de Saset (Saset, 2023).....	51
Ilustración 38. Esquema de la ETAP III (Imagen de elaboración propia)	52
Ilustración 39. Filtro carbón activado de Saset (1m3/h) (Saset, 2023).....	54
Ilustración 40. Esquema consecución carbón activado (Universidad de Cuyo, 2013).....	56
Ilustración 41. Esquema del filtro de carbón activado (Google, s.f.)	58
Ilustración 42. Sistema de potabilización para agua de lluvias (Imagen de elaboración propia)	58
Ilustración 43. Filtros de Jumia (Jumia, 2023)	59
Ilustración 44. Presa de arena en el río (Imagen de elaboración propia).....	63
Ilustración 45. Barro formado en el río (Imagen de elaboración propia)	64

Índice de tablas

Tabla 1. Resultados del análisis (Imagen de elaboración propia)	39
Tabla 2. Comparación de las ETAP (Imagen de elaboración propia)	53
Tabla 3. Comparación de los filtros de carbón activado (Imagen de elaboración propia) ..	60

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 RESUMEN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

Como bien indica el título, el objetivo de este proyecto es analizar, purificar y potabilizar los recursos de agua disponibles en Nyumbani. Nyumbani es una aldea situada en la provincia de Kitui, Kenia.



Ilustración 1. Ubicación de Nyumbani (Google, s.f.)

Nyumbani es una aldea que alberga a más de mil niños, en su mayoría huérfanos afectados por el SIDA, y a unos doscientos adultos que se encargan de cuidar a los niños. Actualmente es una aldea en desarrollo ya que se están llevando a cabo diversos proyectos, como el alumbrado de calles y casas, la implantación de un huerto solar o el progreso de la educación. Es importante mencionar que estos proyectos son obra de la organización Amigos de Nyumbani, que es una organización dedicada a procurar una vida digna para la infancia y

que colaborará con este proyecto. Existen otras organizaciones que colaboran y antiguos alumnos de ICAI también han dedicado sus proyectos de fin de grado al desarrollo sostenible de Nyumbani. Este mismo año habrá un proyecto de fin de grado complementario a este, que estudiará las diferentes opciones para las instalaciones hidráulicas y la distribución del agua por la aldea.

A la hora de diseñar la ETAP será necesario tener en cuenta las limitaciones y opciones que ofrece una aldea como Nyumbani. Esto implica que el coste de la ETAP deberá ser el menor posible, y que deberá tener un mantenimiento simple y sin mucha necesidad de conocimientos técnicos ni de recambios. Por supuesto, estas condiciones también se aplican al filtro de carbón activo.

Para poder diseñar los sistemas de potabilización con mayor eficacia y exactitud, se recogerán muestras del agua de Nyumbani que posteriormente se analizarán en un laboratorio. También se estudiarán los requisitos exigidos por el Ministerio de Salud de Kenia para el agua potable de así asegurarnos de que los sistemas diseñados ofrecen una calidad de agua final que cumpla con los mismos.

Para asegurar la viabilidad tanto técnica como económica, parte de este proyecto será pasar cuatro semanas en Nyumbani estudiando el terreno y haciendo los últimos ajustes. Este proceso se llevó a cabo durante el mes de julio.

Durante la estancia en Nyumbani, revisamos todos los pozos y “shallow wells” de la aldea. También comprobamos el estado de los bidones de agua e hicimos un mapa marcando la posición de cada uno de los pozos, “shallow wells” y tanques de agua que hay en Nyumbani. Además, hicimos alguna construcción con cemento para certificar la viabilidad de la construcción de la ETAP.

Pero el trabajo principal fue el de comprobar que todos los datos y propuestas incluidas en este trabajo fueran ciertos y viables. Y efectivamente, pudimos corroborar que la información que teníamos previamente era correcta, y todos los diseños propuestos para la potabilización de agua se pueden llevar a cabo con recursos disponibles en Nyumbani.

1.2 ALINEACIÓN CON OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

El objetivo de este proyecto se alinea con los objetivos de las demás organizaciones y con los objetivos de desarrollo sostenible. Y principalmente son potabilizar el agua de los pozos mediante una ETAP (Estación de Tratamiento de Agua Potable) y potabilizar el agua de los tanques llenados por agua de lluvia mediante un filtro de carbón activo.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que más se adaptan a un proyecto de potabilización de agua en Kenia son:

- ODS 6. Agua limpia y saneamiento: Este objetivo se enfoca en garantizar el acceso universal a agua potable y saneamiento para todos, lo cual es esencial para mejorar la calidad de vida y la salud de la población.
- ODS 3. Salud y bienestar: Este objetivo se enfoca en garantizar una vida saludable y el bienestar para todas las personas de todas las edades. Proporcionar agua potable segura es esencial para prevenir enfermedades relacionadas con la contaminación del agua.
- ODS 17. Alianzas para lograr los objetivos: Este objetivo se enfoca en fomentar la colaboración y el trabajo conjunto entre diferentes actores y organizaciones para lograr los ODS. Un proyecto de potabilización de agua en Kenia requeriría colaboración entre diferentes organizaciones y actores locales e internacionales para lograr el objetivo de proporcionar agua potable segura y mejorar la calidad de vida de la población.



Ilustración 2. Objetivos de desarrollo sostenible (SAS, 2023)

Como podemos ver en la imagen anterior, que incluye un listado de todos los ODS, hay más ODS que coinciden con los objetivos de este proyecto. Como por ejemplo el ODS1, ya que este proyecto pretende mejorar la calidad vida y contribuir al progreso de una aldea subdesarrollada. O los ODS 7 y 9, ya que este proyecto pretende mejorar las instalaciones de agua en Nyumbani y potenciarlas únicamente con energía renovable, contribuyendo también al ODS 11.

1.3 MOTIVACIÓN PARA EL PROYECTO

La motivación principal para este proyecto es tener la posibilidad de implementar un proceso de potabilización de agua para Nyumbani, que es una aldea que alberga a más de mil niños huérfanos, para mejorar su calidad de vida y contribuir a su desarrollo. Pero existen más motivos:

1. Ayudar a mejorar la calidad de vida de las personas: En muchas partes de Kenia, el acceso al agua potable es limitado y las personas a menudo deben recurrir a fuentes de agua no seguras para satisfacer sus necesidades. Esto puede tener consecuencias graves para su salud y bienestar, como enfermedades gastrointestinales y otras

afecciones relacionadas con la contaminación del agua. Al ayudar a proporcionar agua potable segura, un proyecto de este tipo podría mejorar significativamente la calidad de vida de las personas en Kenia.

2. Contribuir al desarrollo sostenible: La falta de acceso al agua potable es un problema importante en muchos países en desarrollo, incluyendo Kenia. Al ayudar a potabilizar el agua, se puede contribuir al desarrollo sostenible al proporcionar una fuente de agua limpia y segura que puede utilizarse para una variedad de fines, desde el consumo humano hasta la agricultura y la producción de energía.
3. Aprender habilidades útiles: Participar en un proyecto de potabilización de agua en Kenia puede ser una oportunidad para aprender nuevas habilidades y adquirir experiencia en la implementación de soluciones prácticas para problemas reales. Esto podría ser útil tanto personal como profesionalmente, y podría ayudar a desarrollar habilidades valiosas para el futuro.
4. Fomentar la colaboración y el entendimiento intercultural: Participar en un proyecto de este tipo proporciona una oportunidad para interactuar con personas de una cultura diferente y aprender más sobre sus experiencias y perspectivas. Además, trabajar en colaboración con personas de diferentes orígenes fomenta una mayor comprensión y respeto mutuos, lo que tendrá beneficios a largo plazo para la cooperación y el entendimiento intercultural.

1.4 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Como ya he explicado previamente, el objetivo de este trabajo de fin de grado es potabilizar el agua de Nyumbani. Pero para ello, primero debemos conocer las diferentes fuentes de agua que tienen actualmente, tanto en Nyumbani como Kenia, y debemos explicar por qué se encuentran en una situación tan inestable.

Como todos sabemos el principal problema, en cuanto a fuentes de agua potable que tienen casi todos los países de África es la escasez de lluvia. La lluvia anual en Kenia varía en función de la región, ya que el país tiene una topografía muy variada y hay diferentes climas en diferentes zonas. Por lo general, la mayor parte de las lluvias en Kenia ocurren entre marzo y mayo y entre octubre y diciembre.

En algunas regiones del país, como la costa y las zonas montañosas, la lluvia es relativamente abundante, con precipitaciones anuales que pueden superar los 2.000mm. En otras regiones, como el noreste y el sureste, la lluvia es mucho más escasa, con precipitaciones anuales inferiores a los 50mm como muestra el siguiente gráfico que estudia las precipitaciones y temperatura en la provincia de Kitui (Meteoblue, 2023).

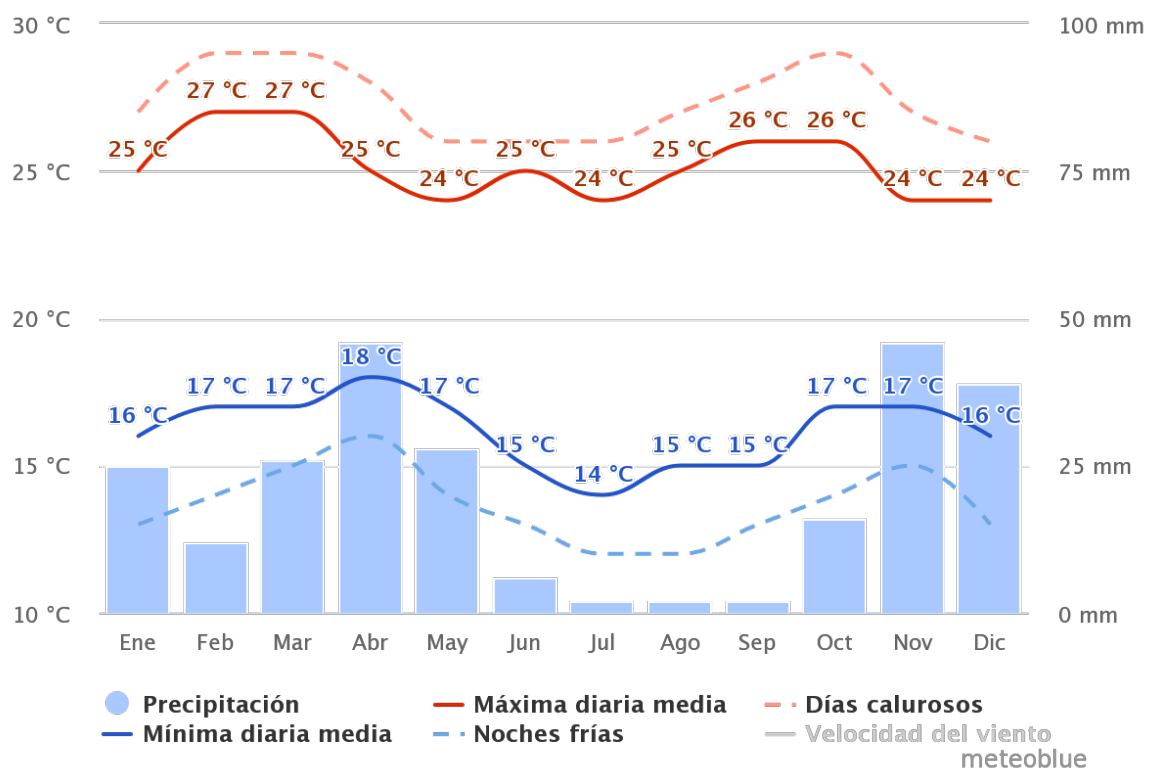


Ilustración 3. Gráfico de temperatura y precipitaciones en Kitui (Meteoblue, 2023)

En cuanto a la duración de las sequías, Kenia ha experimentado en el pasado graves sequías, especialmente en las regiones más áridas del país. Las sequías en Kenia pueden durar varios años y tener un impacto significativo en la agricultura y la seguridad alimentaria.

Actualmente, la única forma de purificar o potabilizar el agua con la que se cuenta es filtrar la misma con unas cantinas de barro. Este filtro es eficiente para eliminar sólidos en suspensión, pero no consigue garantizar la potabilidad del agua, ya que es simplemente un tratamiento físico.

1.4.1 MAPA DE LOS RECURSOS DE AGUA

En Nyumbani cuentan con cuatro fuentes de agua: los pozos, los “shallow wells”, los embalses y los tanques de agua de recogida de lluvia. Más adelante explicaremos el funcionamiento y los problemas que presentan cada una de estas fuentes de agua.

En el siguiente mapa, elaborado juntamente con Ignacio Lastras Cordero, hemos marcado la localización de todos los pozos, “shallow wells” y embalses:

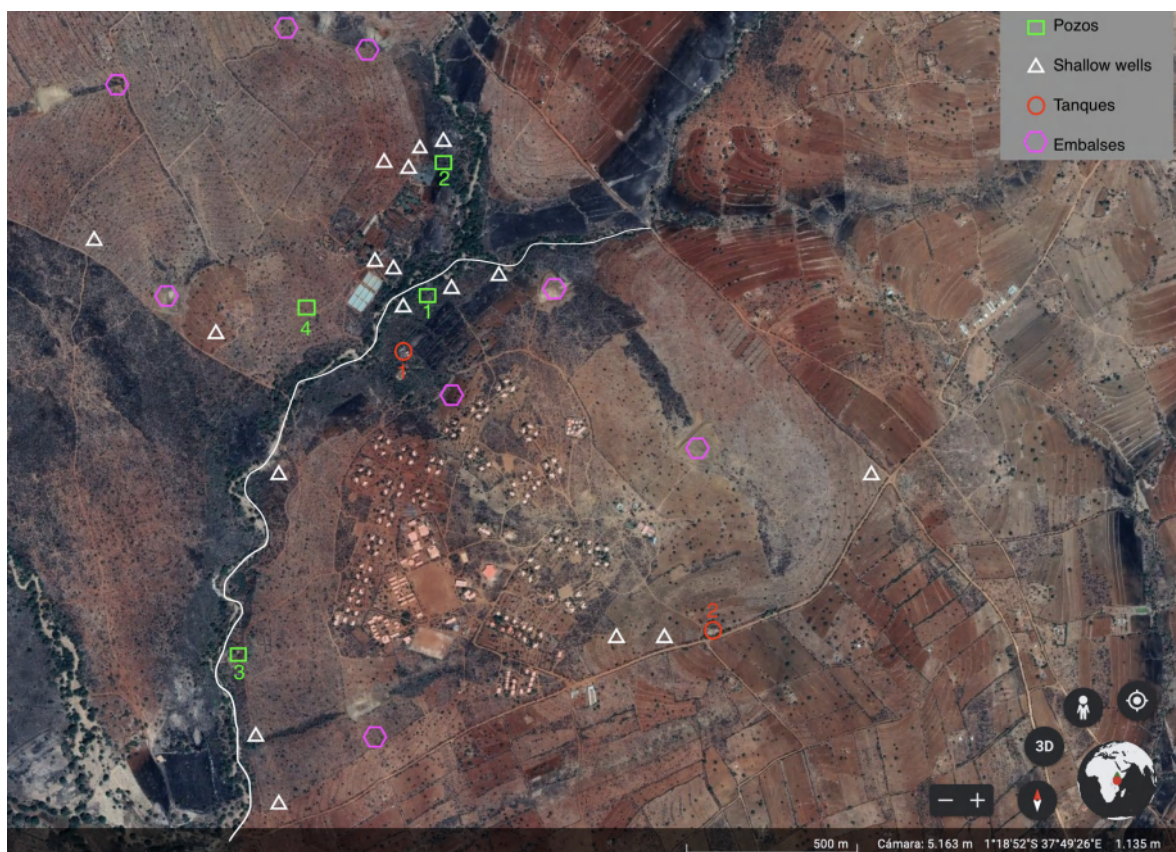


Ilustración 4. Mapa de los recursos de agua en Nyumbani (Imagen de elaboración propia)

Como podemos ver, el mapa muestra los tres pozos, los diecisiete “shallow wells”, y los ocho embalses que hay en Nyumbani. También está marcado con una línea blanca el río que atraviesa la aldea. No todos los embalses y “shallow wells” se encuentran actualmente en funcionamiento, debido a la falta de lluvias o mantenimiento, pero hemos marcado todos aquellos que tienen posibilidad de funcionar.

Toda el agua destinada a consumo humano proviene del tanque 2. Este tanque está ubicado en el punto más alto de la aldea, y desde ahí se distribuye a todos los puntos de esta. Al lado del tanque 2, hay un tanque igual de agua de Masinga, que es el agua que proviene de la red del gobierno. Esta agua ya cumple con todos los requisitos de potabilización, pero es muy cara y sólo la usan cuando es estrictamente necesario. Siempre que se mencione el tanque 2, nos referiremos al tanque de agua que contiene el agua del pozo.

En cuanto a los tanques de agua de lluvia, que es la otra fuente de agua aparte de la que proviene del tanque 2, hay uno por cada casa que recoge el agua que llueve sobre el tejado de esta. En Nyumbani, las casas están agrupadas en grupos de cuatro, a estos grupos los llaman “clusters”. En el siguiente mapa podemos ver la ubicación de cada uno de los “clusters”:

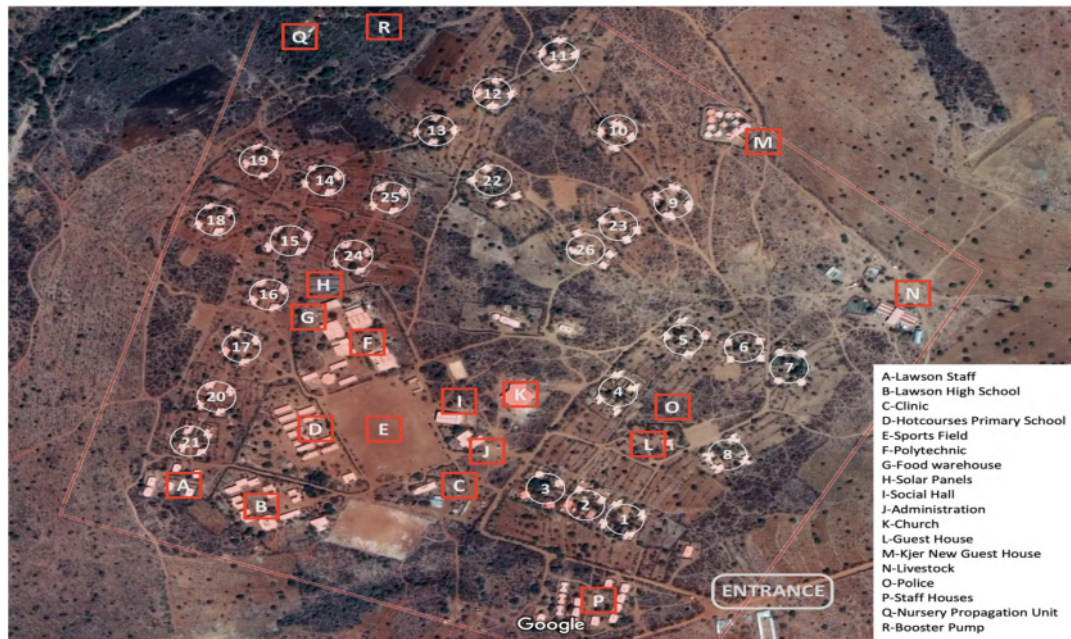


Ilustración 5. Mapa de los clusters de Nyumbani (Jesús López-Varela, 2022)

También es importante mencionar que cada uno de estos “clusters” tiene un grifo común que proporciona directamente agua del tanque 2 señalado en la Ilustración 4.

1.4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS POZOS

Actualmente cuentan con cuatro pozos, de esos 4 pozos, usan dos exclusivamente para cultivo y los otros dos se reparten entre consumo humano y agua para el cultivo.

El primer pozo que se usa para consumo humano y agua de cultivo fue una donación del gobierno de Kenia, tiene 100 metros de profundidad y cuenta con una válvula que dirige el agua hacia la granja de cultivo o hacia un tanque donde almacenan el agua del pozo.



Ilustración 6. Pozo 1 (Imagen de elaboración propia)



Ilustración 7. Válvula del pozo 1 (Imagen de elaboración propia)

La válvula suele estar abierta para llevar agua a un tanque que hay situado al lado de este pozo, solo se gira y se dirige agua al huerto cuando falla uno de los pozos del huerto.

El tanque que se encuentra al lado de este pozo es el tanque 1 que únicamente lleva el agua hasta el tanque 2, y ya desde este se distribuye el agua.

El tanque 1 está situado al lado de una instalación con una bomba que impulsa el agua hasta el tanque 2.



Ilustración 8. Tanque 1 (Imagen de elaboración propia)



Ilustración 9. Instalación de la bomba del tanque 1 (Imagen de elaboración propia)

Como ya hemos dicho, la bomba impulsa el agua del tanque 1 al tanque 2, que tiene un volumen mucho mayor (375 m^3) y está situado el punto más alto para facilitar la posterior distribución a todos los “clusters” y puntos de la aldea.



Ilustración 10. Tanque 2 (Imagen de elaboración propia)

El segundo pozo tiene una profundidad de 130 metros y está situado también al lado del huerto de cultivo.



Ilustración 11. Pozo 2 (Imagen de elaboración propia)

El tercer pozo en funcionamiento está también dedicado exclusivamente al cultivo. Este último lo utilizan para las plantaciones de árboles.



Ilustración 12. Pozo 3 (Imagen de elaboración propia)

Y el cuarto pozo, también se usa para consumo humano y cultivo. Desde este pozo también se lleva el agua al tanque 1.



Ilustración 13. Pozo 4 (Imagen de elaboración propia)

Todas las bombas de los pozos están conectadas a unos paneles solares que proporcionan la energía suficiente para su funcionamiento. Están conectadas a instalaciones como la siguiente:



Ilustración 14. Paneles solares para energía de las bombas (Imagen de elaboración propia)

En algunos casos, como hemos podido ver en el caso de los pozos 3 y 4, los paneles solares que aportan potencia a la bomba se encuentran directamente encima del pozo.

1.4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SHALLOW WELLS

Además de los pozos, cuentan con 17 “shallow wells”, que son pozos de menor profundidad, de aproximadamente unos 15 metros.



Ilustración 15. Shallow Wells (Imagen de elaboración propia)

Actualmente no funciona ninguno de los “shallow wells” debido a que no se realiza ningún mantenimiento. Al no limpiarse se forma una capa de barro en la superficie del agua que impide que suba el nivel de la misma a medida que entra agua subterránea. Esto causa que el nivel de agua sea muy bajo, y que el agua que hay sea agua estancada no apta para el consumo humano ni para cultivo.

1.4.4 DESCRIPCIÓN DE LOS BIDONES DE AGUA

El agua de la lluvia, sin embargo, va destinada íntegramente al consumo humano, la usan tanto para beber como para cocinar. Cada casa cuenta con un bidón de una capacidad de diez mil litros que recoge el agua de lluvia que cae sobre el tejado de las casas. Ese mismo bidón tiene un grifo conectado en la parte inferior que facilita el uso de esa agua almacenada.



Ilustración 16. Bidón de recogida de agua de lluvia (Imagen de elaboración propia)

1.4.5 DESCRIPCIÓN DE LOS EMBALSES

Los ocho embalses que hay actualmente en Nyumbani se usan para cultivo y para el ganado, no se usan para consumo humano. Estos embalses sólo se llenan en la época de lluvias y están vacíos el resto del año.



Ilustración 17. Embalses de Nyumbani (Imagen de elaboración propia)

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

En este apartado explicaremos brevemente qué es una ETAP y un filtro de carbón activado, para más adelante poder explicar las decisiones de diseño tomadas y el motivo por el cuál las escogeremos.

2.1 DESCRIPCIÓN DE UNA ETAP

Una Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) es una planta encargada de purificar y acondicionar el agua cruda para convertirla en agua potable segura y apta para el consumo humano. El funcionamiento de una ETAP se basa en una serie de etapas secuenciales:

En primer lugar, se realiza la captación del agua cruda proveniente de fuentes como ríos, lagos o pozos. En el caso de Nyumbani el agua que pretende potabilizar la ETAP proviene de un pozo. Esta agua contiene impurezas y contaminantes que deben ser eliminados para poder garantizar la seguridad del consumidor.

Luego, se lleva a cabo el pretratamiento, que consiste en la eliminación de materiales suspendidos y sedimentos presentes en el agua. A través de procesos de filtración y sedimentación, se retiran objetos grandes y partículas pequeñas, mejorando así su calidad. En esta etapa se eliminan principalmente los sólidos en suspensión presentes en el agua.

A continuación, se realiza la coagulación, floculación y decantación. Se agrega un coagulante al agua para que las partículas pequeñas se agrupen y formen flóculos más grandes. El agua es agitada suavemente para favorecer esta formación.

Después de la coagulación y floculación, el agua ingresa a los sedimentadores o clarificadores. Aquí, los flóculos formados se asientan en el fondo debido a la gravedad. El agua clarificada se recoge en la parte superior y se dirige a la siguiente etapa, mientras que los lodos acumulados en el fondo se eliminan.

Posteriormente, el agua clarificada pasa a través de filtros compuestos por diferentes capas de material filtrante, como arena, grava y carbón activado. Estos filtros retienen partículas pequeñas y microorganismos presentes en el agua, mejorando su claridad y calidad.

Una vez filtrada, se realiza la desinfección del agua para eliminar microorganismos patógenos y prevenir enfermedades. Esto se logra mediante el uso de agentes desinfectantes como cloro, dióxido de cloro, ozono o luz ultravioleta, en dosis controladas para garantizar su efectividad sin representar riesgos para la salud. El desinfectante más común y utilizado en Kenia es el cloro, por lo que escogeremos esta opción.

En algunos casos, es necesario ajustar el pH del agua potable para cumplir con los estándares de calidad. Se pueden agregar sustancias químicas, como cal o ácido, para equilibrar y controlar el pH del agua.

Finalmente, el agua potabilizada se almacena en tanques o reservorios para su posterior distribución a través de la red de suministro. Desde allí, se transporta a los hogares, comercios e industrias mediante tuberías, para el consumo humano.

Es importante tener en cuenta que el diseño y la operación exacta de una ETAP pueden variar según las características del agua cruda y los requisitos locales. Por lo que intentaremos buscar la solución más simple y barata que no requiera un gran mantenimiento. Sin embargo, los procesos mencionados anteriormente son los fundamentales para garantizar la producción de agua potable segura y de calidad.

También es importante mencionar que, en función de la calidad de agua de entrada, podremos necesitar un tratamiento físico, químico o biológico. Al tratarse de un agua de pozo, y según los análisis realizados que se explican más adelante, usaremos, en nuestro caso, un tratamiento físico y químico.

A continuación, se muestra un esquema general de una ETAP estándar que ayudará a aclarar esta explicación:

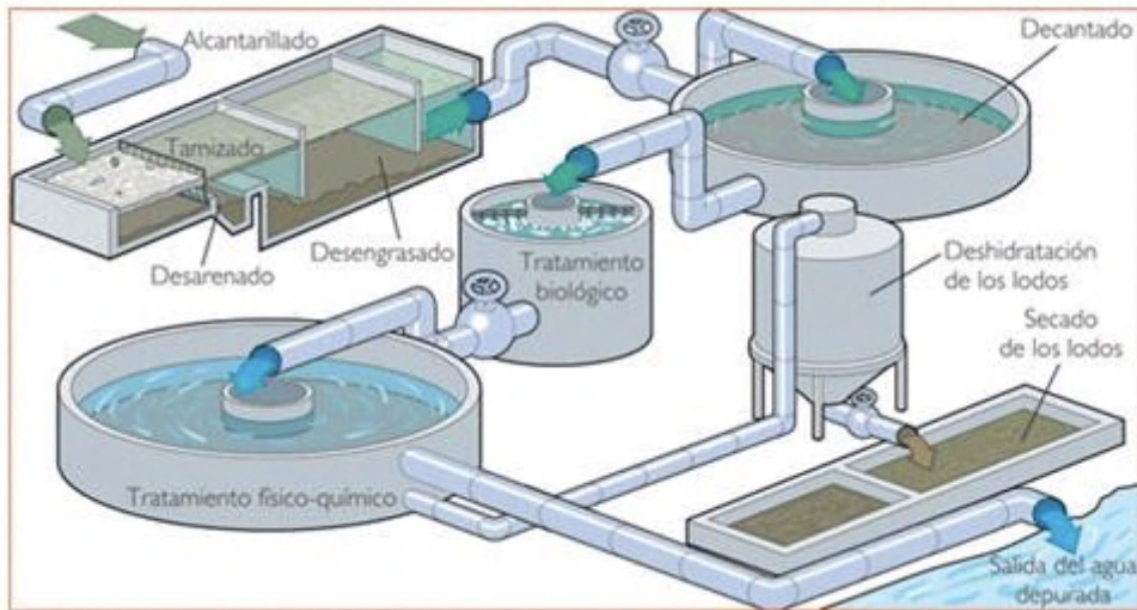


Ilustración 18. Esquema general de una ETAP (Ceupe, 2023)

Como podemos ver en la imagen, el agua pasa por un pretratamiento y un tratamiento estándar antes de la salida para garantizar su potabilidad.

2.2 DESCRIPCIÓN DE UN FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO

Un filtro de carbón activado es un dispositivo utilizado para purificar el agua eliminando impurezas y sustancias químicas no deseadas. El carbón activado es un material poroso que tiene la capacidad de adsorber (retener en su superficie) compuestos orgánicos, productos químicos y algunas partículas presentes en el agua.

El funcionamiento de un filtro de carbón activado consiste en un recipiente o carcasa que contiene una capa de carbón activado, obtenido de fuentes como cáscara de coco, madera o carbón mineral, que ha sido sometido a un proceso de activación para desarrollar su porosidad y capacidad de adsorción.

Cuando el agua pasa a través del filtro, las impurezas y sustancias químicas presentes se adhieren a la superficie porosa del carbón activado. Su carga eléctrica negativa atrae las moléculas orgánicas e inorgánicas, permitiendo su retención en los poros. Esto permite la eliminación de compuestos no deseados y contaminantes.

El carbón activado es particularmente efectivo en la eliminación de compuestos orgánicos, como productos químicos, pesticidas, herbicidas, cloro, metales pesados, compuestos aromáticos y algunos contaminantes microbiológicos.

A medida que el carbón activado retiene impurezas, su capacidad de adsorción disminuye con el tiempo. Por lo tanto, es necesario reemplazar o regenerar el medio filtrante de manera periódica, dependiendo del nivel de contaminación y el uso del filtro. Esto asegura la eficiencia del filtro y prolonga su vida útil. Más adelante estudiaremos diversas opciones de bajo coste que nos permitirán cambiar el filtro cuando este pierda rendimiento, evitando así procesos costosos de mantenimiento.

Es importante tener en cuenta que los filtros de carbón activado tienen capacidades de adsorción limitadas y no eliminan todas las sustancias presentes en el agua o el aire. Algunos contaminantes, como los metales pesados o ciertos productos químicos, pueden requerir tratamientos adicionales o tecnologías específicas para su eliminación completa. Como en Nyumbani usaremos los filtros de carbón activado para purificar el agua recogida de la lluvia esto no debería suponer un problema, no obstante, es importante mencionarlo por si se usan en otro tipo de industria.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Antes de comenzar a diseñar nuestra ETAP y nuestro filtro de carbón activado, vamos a estudiar e investigar soluciones similares que se hayan implementado en la misma zona, o en zonas con recursos similares a Nyumbani. Hay que tener en cuenta que todos los estudios similares que buscamos deben tener una calidad de agua inicial similar a la de Nyumbani. Para así poder buscar un modelo de potabilización que nos permita reducir las sales, que como revelaron los análisis del laboratorio, son el principal problema.

El primer estudio que analizaremos es un estudio realizado por Inés Valero en 2015. Este trabajo de fin de grado también tenía como objetivo diseñar una potabilizadora de agua en África, aunque en este caso en Benín. Al tratarse de una zona con acceso a los mismos recursos que Nyumbani, podemos analizar las diferentes opciones planteadas en este proyecto para comprobar cuál es la más eficaz en función de las diferencias en el análisis del agua cruda de ambos proyectos.

La ETAP de este proyecto tiene una etapa de pretratamiento, una de tratamiento estándar y por último una de desinfección por cloración. Estas tres etapas también se repetirán en nuestra ETAP, las principales diferencias las encontraremos en el tratamiento estándar.

El tratamiento estándar diseñado por Inés Valero consiste en una etapa de coagulación, floculación y decantación, y también una etapa de filtración. Este patrón es el más repetido en todos los estudios y diseños.



Ilustración 19. Esquema de la ETAP (Inés Valero, 2015)

En otro diseño realizado en Burkina Faso por Víctor López-Grimau y Beatriz Amante, también podemos observar como en la etapa de tratamiento estándar incluyen la coagulación, floculación y decantación, y la etapa de filtración por arena.



Ilustración 20. Esquema de la ETAP (Víctor López-Grimau y Beatriz Amante, 2011)

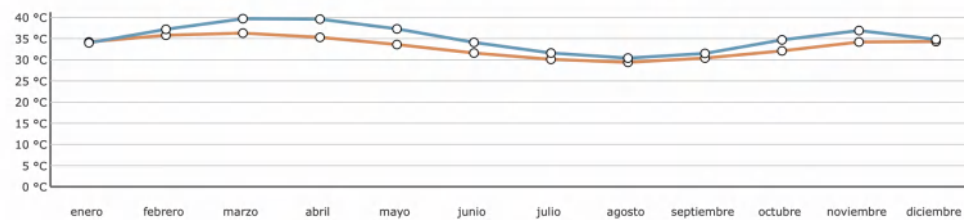
Tanto en los diseños de Benín como de Burkina Faso, vemos que el diseño de la ETAP es igual. El desarrollo de los países es similar al de Kenia, tanto económicamente como a nivel de recursos. Además, la accesibilidad al agua que presentan cada uno de los países también

es representativo para Kenia, ya que los tres países tienen unas condiciones de lluvia y clima similares.

En los siguientes gráficos se muestran las comparativas de precipitaciones y clima de ambos países.

Temperaturas máximas diarias

Las temperaturas diurnas más altas en Benín se alcanzan en marzo, con una media de 36,3 °C. El mes más frío, sin embargo, es agosto, con sólo 29,4 °C. En Est, marzo es el mes más cálido, con 39,7 °C. Allí, la temperatura más fresca es la de agosto, con 30,4 °C.



Mínimos de la noche

Por la noche, refresca más o menos según el país y la altitud. En Benín, las temperaturas bajan hasta 21,5 °C en enero. Las noches más cálidas se dan en abril, con 25,4 °C. En Est, la noche más fresca es la de enero, con 19,0 °C, y la más cálida la de abril, con 26,9 °C. Esto corresponde a un enfriamiento de 6,8 a 12,7 °C en Benín y de 8,4 a 15,5 °C en Est.

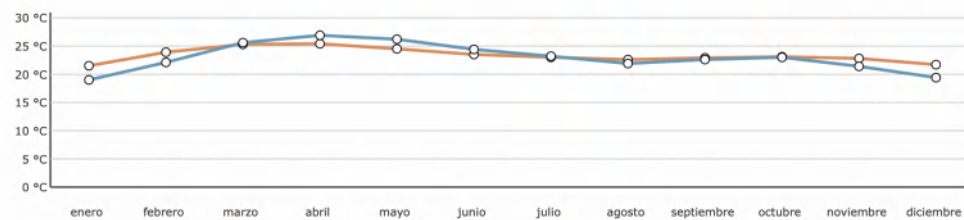
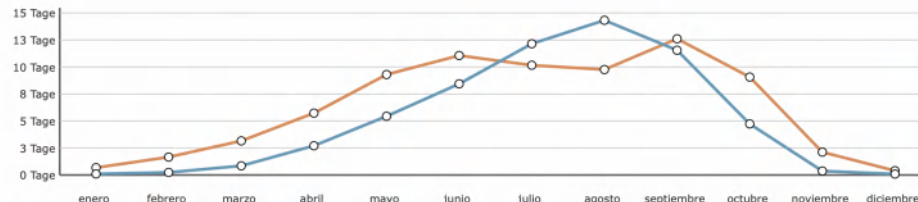


Ilustración 21. Comparativa de temperaturas entre Burkina Faso y Benín (DatosMundial, 2023)

Días de lluvia al mes

Por definición, un día de lluvia es un día en el que caen al menos 0,1 litros de precipitación por m². Esto corresponde a un charco de 1 metro cuadrado en el que el agua tiene una altura de 0,1 mm, siempre que el agua no se filtre o se evapore. Así que no es necesario que llueva todo el día. Septiembre es el mes con más días de lluvia (12,6) en Benín. Con una media de sólo 0,4 días, diciembre es el más amable. En Burkina Faso, el mes en el que más llueve es agosto, con 14,3 días.



Precipitación por día

Según la estación del año y la ubicación de un país, el viento trae consigo una cantidad variable de agua. Por regla general, el agua que se evapora en los océanos es absorbida y luego transportada hacia el interior. La mayor cantidad de lluvia (el granizo o el rocío también son formas de precipitación) en Benín se produce en junio. Entonces caen unos 6,8 litros por metro cuadrado al día. En Burkina Faso, la media de precipitaciones se sitúa entre 0,0 litros diarios en diciembre y 7,8 en agosto. Sin embargo, se trata de valores medios. Si se tiene en cuenta que en junio sólo hay 11,1 días de lluvia en Benín, cada uno de ellos supone unos 18,3 litros.

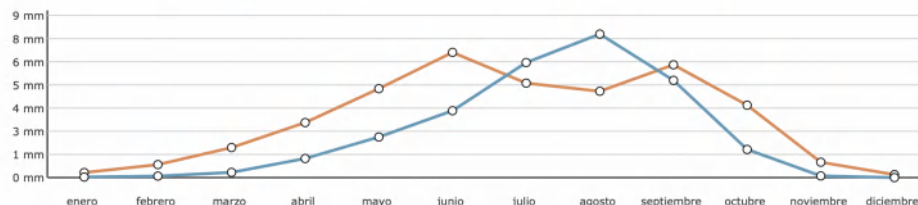


Ilustración 22. Comparativa de precipitaciones entre Burkina Faso y Benín (DatosMundial, 2023)

Si comparamos estas gráficas con la Ilustración 3, en las que se muestran las precipitaciones y temperaturas de Kenia, podemos ver la similitud entre los tres países. Por tanto, al tratarse de tres proyectos tan similares, la opción de incluir CFD y filtración en el tratamiento estándar de nuestra ETAP destaca como una opción muy viable.

Además, esta opción no sólo es la más utilizada en centro África. Como podemos ver en un proyecto realizado por Daniel Segura Pérez en Cabo Verde, el tratamiento estándar de la ETAP, también consiste en una etapa de CFD y otra de filtración.

Tras estudiar estos proyectos y comprobar que esta es la opción más viable, una de las opciones que diseñaremos será la de un tratamiento estándar con CFD y filtración. Estas dos etapas se tendrán que adaptar lógicamente a las necesidades específicas del agua de Nyumbani.

En cuanto a la etapa de filtración, en Nyumbani cuentan con filtros de arena que utilizan actualmente como único método para potabilizar el agua. Este tipo de filtros son los más

adecuados para este tipo de regiones y de instalaciones, ya que el coste es muy bajo y el mantenimiento prácticamente nulo.

Podemos encontrar varios estudios en las zonas con menos recursos de Sudamérica donde se usan filtros de arena similares a los que podemos encontrar en Nyumbani. Como, por ejemplo, un estudio realizado por María José Rivas y Wendy Johana García en Costa Rica, donde recalcan la efectividad de los filtros de arena como el de la siguiente imagen:

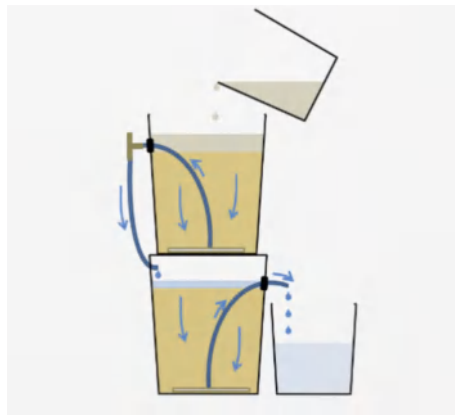


Ilustración 23. Filtro de arena (Filtración de arena para la potabilización de agua en san José de Playón, 2017)

En cuanto a los filtros de carbón activado, también podemos encontrar muchos estudios y proyectos donde utilizan esta opción como la más viable para potabilizar el agua recogida de la lluvia.

En 2020, Marcos Daniel Hidalgo y Luis Ángel Trigozo realizaron un estudio en Tarapoto concluyendo que los filtros de carbón activado eran la forma más eficaz de purificar el agua de lluvia para las viviendas. En Nyumbani, como ya hemos explicado, el agua de lluvia se recoge individualmente en cada casa, por lo que el filtro de carbón activado parece la opción más viable para los tanques de almacenamiento de cada casa.

Capítulo 4. ANÁLISIS DEL AGUA

Para poder hacer un diseño más eficaz de los sistemas de potabilización, recogimos muestras del agua de los pozos de Nyumbani y los analizamos en el laboratorio. En el laboratorio de ICAI medimos los parámetros más determinantes del agua recogida de los pozos, para posteriormente valorar junto con los requisitos de agua doméstica de Kenia, el tratamiento que se deberá seguir.

4.1 MEDIDA DE LA CONDUCTIVIDAD

El procedimiento para medir la conductividad de una muestra de agua consiste en utilizar un electrodo selectivo de conductividad previamente calibrado con una disolución patrón de 1413 S/cm. Luego, se toma un pequeño volumen de la muestra problema y se coloca en un vaso de reactivos de 50 mL. Se introduce el electrodo selectivo en el agua y se agita suavemente. La medida de la conductividad aparecerá directamente en el electrodo.

La medida obtenida fue: 4,15 ms.

4.2 MEDIDA DEL PH

El procedimiento para medir el pH de una muestra de agua se inicia con la calibración del pH-metro utilizando disoluciones patrón de pH 4 y pH 7. Una vez calibrado el pH-metro, se introduce el electrodo del pH-metro en la muestra de agua y se espera a que la medición se estabilice, tomando nota del resultado numérico obtenido. De esta forma, se podrá conocer la acidez o alcalinidad de la muestra de agua.

El resultado obtenido fue: 6,72.

4.3 MEDIDA DEL OXÍGENO DISUELTO

Para medir la cantidad de oxígeno disuelto en una muestra de agua se inicia con la calibración del electrodo utilizando el accesorio proporcionado, el cual requiere humedecer la esponja del interior. Luego, se rellena el frasco Winkler hasta el borde con la muestra de agua problema. A continuación, se introduce el electrodo en el agua y se agita suavemente. La medición de la cantidad de oxígeno disuelto aparecerá directamente en el electrodo, permitiendo anotar el porcentaje de saturación de oxígeno en la muestra. Con este procedimiento se puede determinar la cantidad de oxígeno presente en la muestra de agua.

El resultado obtenido fue: 93%

4.4 DETERMINACIÓN DE LAS SALES INORGÁNICAS

En este apartado vamos a detallar el proceso de identificación y valoración de cloruros y el análisis de las siguientes sales: NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} y SO_4^{2-} .

4.4.1 MEDIDA DE CLORUROS

Para identificar la presencia de cloruros en una muestra de agua, se utiliza un tubo de ensayo donde se colocan 2 o 3 ml de la muestra problema, seguido de la adición de unas gotas de AgNO_3 (0.2M). Si en la muestra de agua hay presencia de cloruros, se producirá un precipitado blanco de AgCl . En nuestro caso el precipitado blanco apareció casi de inmediato, por lo que la concentración de cloruros es alta.

Se produce la siguiente reacción: $\text{Cl}^- + \text{Ag}^+ \rightarrow \text{AgCl}$ (*precipitado blanco*)

Después procedimos a calcular la concentración exacta colocando 12,5 ml de la muestra problema en un Erlenmeyer de 100 ml y añadiendo 2 gotas de K_2CrO_4 al 1%, que funciona como indicador. Luego, se valora añadiendo AgNO_3 [0.02 M] desde una bureta, gota a gota. Durante la valoración, se produce la formación de AgCl , y cuando la cantidad de cloruros presentes en la muestra se agota, la Ag^+ que se añade comienza a reaccionar con el cromato (CrO_4^{2-}), lo que resulta en un precipitado de color rojo que indica el final de la valoración.

Se produce la siguiente reacción: $CrO_4^{2-} + 2 Ag^+ \rightarrow Ag_2CrO_4$

El volumen de $AgNO_3$ 0,02M consumido en la valoración fue de 18 mL.

Con este resultado calculamos la concentración de cloruros en la muestra:

$$M = \frac{n^{\circ} \text{ moles}}{V(L)} \rightarrow 0,02 = \frac{n^{\circ} \text{ moles}}{0,018} \rightarrow n^{\circ} \text{ moles } Ag^+ = 3,6 * 10^{-4}$$

Y como sabemos que: $n^{\circ} \text{ moles } Ag^+ = n^{\circ} \text{ moles } Cl^-$ entonces:

$$\text{Concentración } Cl = \frac{n^{\circ} \text{ moles } Cl * U(Cl)}{V(L)} = \frac{3,6 * 10^{-4} * 35,5}{0,0125} = 1022,4 \text{ mg/L}$$

4.4.2 MEDIDA DE NITRATOS

Para determinar la cantidad de nitratos presentes en la muestra de agua, cogimos 4 ml de la solución NO_3 -1 con una jeringa y la colocamos en un tubo de ensayo con tapa. Luego, se agrega 0.5 ml de agua problema, sin mezclar los componentes. A continuación, se añaden 0.5 ml del reactivo NO_3 -2 con una pipeta, con cuidado de no mezclarlo con la solución anterior, ya que esto podría provocar un calentamiento del tubo. Una vez que se ha añadido el reactivo, se mezcla cuidadosamente el contenido del tubo. Después de dejar el tubo en reposo durante 10 minutos, se mide la absorbancia a 340 nm. Este método es ampliamente utilizado en el análisis de la calidad del agua, ya que los nitratos pueden estar presentes en las aguas subterráneas y superficiales como resultado de la contaminación por actividades humanas y agrícolas.

El resultado obtenido fue: 19 mg/L.

4.4.3 MEDIDA DE AMONIO

Para medir la cantidad de amonio en la muestra de agua, se tomarán 5 ml del agua problema y se colocarán en un tubo de ensayo usando la pipeta proporcionada. A continuación, se añadirán 0.6 ml del reactivo NH_4 -1, utilizando la pipeta. Se mezcla bien la solución y se añade una microcuchara del reactivo NH_4 -2, agitando nuevamente para homogeneizar la

muestra. Luego, se deja en reposo durante 5 minutos. Después de ese tiempo, se añaden 4 gotas del reactivo NH_4 -3 y se agita suavemente. La muestra se deja reposar durante otros 5 minutos antes de medir la absorbancia a una longitud de onda de 690 nm.

Tras realizar el ensayo pudimos comprobar que el contenido de amonio era mínimo, incluso demasiado pequeño como para obtener una medida exacta.

4.4.4 MEDIDA DE FOSFATOS

Para analizar el contenido de fosfatos en la muestra, tomamos 5 ml del agua problema y la colocamos en un tubo de ensayo. Luego, añadimos 1.2 ml del reactivo PO_4 -1 con una jeringa y se lo mezclamos. A continuación, procedimos a medir la muestra a una longitud de onda de 400 nm en el espectrofotómetro.

El resultado obtenido fue: 20,4 mg/L.

4.4.5 MEDIDA DE SULFATOS

Por último, medimos los sulfatos en la muestra de agua del pozo tomando 2 ml de la muestra y añadiendo una dosis del reactivo SO_4 -1K con la microcuchara. Después de agitar vigorosamente la cubeta, firmemente cerrada, hasta que el reactivo se haya disuelto completamente, se deja en reposo durante 2 minutos antes de medir a 525 nm.

El resultado obtenido fue: 101 mg/L.

4.5 RESULTADOS

Tras los ensayos realizados, vamos a comparar las medidas con el Anexo II: Ley Medioambiental de Kenia 2006, que especifica los valores máximos exigibles para mantener la calidad del agua potable.

De esta forma, podremos catalogar la calidad del agua. Una vez estimemos el nivel de calidad, podremos diseñar un tratamiento apropiado.

Como podemos ver, la ley de Kenia no regula ni exige ningún valor máximo para la conductividad, el oxígeno disuelto, fosfatos, sulfatos y cloruros. Por lo que nos guiaremos por la ley de agua potable en España para seguir siempre los límites más restrictivos y garantizar la potabilidad del agua. Esta ley se especifica en el Anexo I: Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro.

Los resultados obtenidos en los ensayos realizados en las pruebas de laboratorio se resumen en la siguiente tabla:

Parámetros	Unidad	Medida
Conductividad a 20 °C	μS/cm	4 150
pH		6,72
Oxígeno disuelto	% saturación	93
Nitratos	mg/L	19
Amonio	mg/L	low
Fosfatos	mg/L	20,4
Sulfatos	mg/L	101
Cloruros	mg/L	1022,4

Tabla 1. Resultados del análisis (Imagen de elaboración propia)

Con los resultados de la tabla podemos observar que hay niveles excesivos de fosfatos y cloruros, y también de conductividad. Por lo tanto, será necesario diseñar un tratamiento tanto físico como químico para potabilizar el agua.

También llevamos una muestra de agua a un laboratorio para que analizaran la muestra y poder comparar los resultados. Los resultados se muestran en la siguiente imagen:



LABO-RED
CONTROL ANALÍTICO, S.L.



(*) Los ensayos/muestras marcados no están amparados por la acreditación de ENAC

Laboratorio:
C/ Mariano Sebastián Izuel, 3
28100 Alcobendas, MADRID
Telf/Fax 91 652 05 75
cif B 82676735
e-mail: info@labo-red.com
www.labo-red.es

INFORME DE ENSAYO Nº 85595 Página 1

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

D. Miguel Riaza
C/ Edgar Neville 37
Madrid
28020 MADRID

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Muestra número: A/85595

**** Fecha/Hora de toma de muestra (*):** 13/06/2023 09:00:00

Fecha inicio análisis: 13/06/2023

**** Descripción objeto de ensayo:** Agua de consumo

**** Información adicional sobre la muestra:**
Muestra recogida por el cliente.

Fecha/Hora de recepción: 13/06/2023

Fecha fin análisis: 04/07/2023

Envase utilizado: Polietileno 500 ml.

**** Método toma muestra (*):** Toma de muestra realizada por el cliente.

Ensayos solicitados:

Parámetros / Ensayos	Resultados	Unidades	Valor Paramétrico	Metodología
pH	7.2	udes. pH	6.5 - 9.5	PEE/LABORED/19
Conductividad eléctrica a 20 °C.	3700	µS/cm	2500	PEE/LABORED/21
* Nitratos	72.1	mg/l	50	PEE/LABORED/08
Amonio	<0,05	mg/L.	0,5	PEE/LABORED/24
* Fluoruros	2,30	mg/L.	1.5	APHA 1500-F-C.
Arsénico total.	<2,0	ug/L.	10	PEE/LABORED/15

- Los resultados contenidos en este informe solo dan fe de la muestra presentada.

- Los valores en negrita están fuera de los límites establecidos o recomendados.

- Este informe no deberá reproducirse total ni parcialmente sin la autorización escrita del laboratorio.

- V.A.: volumen analizado; L.D.: límite de detección; Resultado "No conchuyente" cuando por sobrecrecimiento o invasión no se puede emitir un resultado.

- En los recuentos microbiológicos, el valor <1 u.f.c./ml o V.A. indica que NO se recuentan colonias; el valor <3 u.f.c./ml o V.A. indica PRESENCIA entre 1 y 2 u.f.c. (excepto para Legionella).

- Las incertidumbres de los ensayos acreditados están calculados encontrándose a disposición de los clientes que lo soliciten.

- Las opiniones e interpretaciones contenidas en este informe no entran dentro del alcance de la acreditación.

- Las actividades de muestreo no están incluidas en el alcance de la acreditación.

- Los recuentos comprendidos entre 3 y 9 ufc/volumen analizado se consideran estimados.

(**) Es información aportada por el cliente y LABO-RED no se hace responsable de dicha información. Los resultados aplican a la muestra tal como se recibió.

LEGISLACIÓN

Valores paramétricos según RD03/2023.

Dirección Técnica
Tarek Al-Droubi
04/07/2023



Ilustración 24. Resultados análisis de agua (Labo-red)

Podemos ver que los resultados coinciden con lo analizado en el laboratorio de ICAI, por lo que el tratamiento necesario para potabilizar el agua se centrará en la eliminación de sales en exceso que tienen ambas muestras.

Los valores analizados que se encuentran por encima de los límites establecidos tanto por España o Kenia son los de nitratos, fosfatos, sulfatos, cloruros y fluoruros. Lógicamente al tener un alto contenido en sales, el valor de la conductividad también será alto. Un agua con alto contenido en sales no supone un gran peligro para la salud y es por ello por lo que ni siquiera tienen valores máximos establecidos en Kenia. Sin embargo, un consumo prolongado de agua de este tipo puede acabar teniendo un impacto negativo en el hígado, por lo que conviene hacer un tratamiento para eliminarlas.

Capítulo 5. SISTEMAS DESARROLLADOS

5.1 DISEÑO DE LA ETAP

Para diseñar nuestra ETAP, vamos a elaborar un tratamiento físico-químico específico para el agua de pozo de Nyumbani. Como ya hemos mencionado previamente, a la hora de diseñar el proceso, es de vital importancia tener en cuenta las limitaciones de recursos que existen en Nyumbani. Por lo tanto, el diseño se basa en conseguir potabilizar el agua cumpliendo con todos los criterios pertinentes de calidad, y usando el menor número de etapas y recursos posibles.

Vamos a proponer tres opciones diferentes. La primera, que será la más sencilla, seguirá el modelo implementado en las otras estaciones de agua potable instaladas en la zona, y con acceso a recursos similares. Las dos siguientes incluirán osmosis inversa y resinas de intercambio iónico respectivamente, con el fin de diseñar una ETAP más eficaz y capaz de reducir el alto nivel de sales observado en los análisis del laboratorio.

Es importante mencionar que estas dos últimas opciones, aunque vayan a proporcionar una calidad de agua superior, serán mucho más caras y difíciles de implementar.

5.1.1 TRATAMIENTO SIMPLE

Después de analizar el agua del pozo, el esquema de la ETAP que vamos a diseñar es el siguiente:

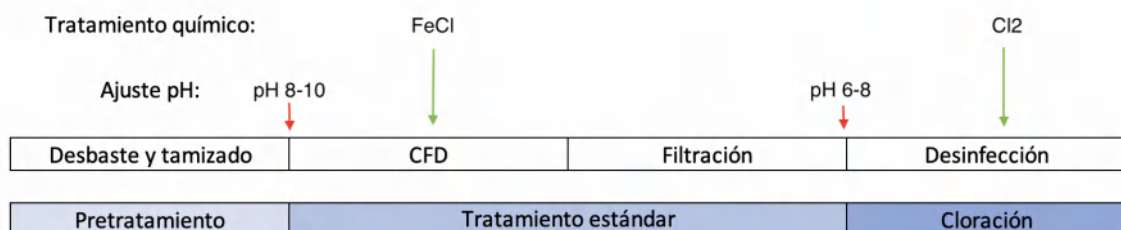


Ilustración 25. Esquema de la ETAP I (Imagen de elaboración propia)

Como se puede observar en la imagen, se distinguen tres fases dentro del proceso de potabilización:

1. **Pretratamiento:** En esta fase, el agua cruda se somete a una serie de procesos para eliminar los contaminantes más grandes y reducir la carga de sólidos suspendidos. El objetivo principal del pretratamiento es preparar el agua para el siguiente paso de tratamiento.
2. **Tratamiento estándar:** En esta fase, el agua pretratada se somete a un proceso de tratamiento adicional para eliminar contaminantes específicos y mejorar su calidad. El objetivo del tratamiento estándar es lograr una calidad de agua potable aceptable según los estándares de salud y seguridad.
3. **Desinfección:** Esta fase es crucial para eliminar microorganismos patógenos y prevenir la transmisión de enfermedades. La desinfección es una medida de protección importante para garantizar la seguridad microbiológica del agua potable y se realiza antes de su distribución a la red de suministro.

5.1.1.1 Pretratamiento

Para el pretratamiento del agua de pozo, vamos a usar un proceso de desbaste y tamizado. Al tratarse de agua de pozo, y después de examinar las muestras de agua, no se espera un contenido alto de sólidos en suspensión, ni sólidos de gran tamaño en el agua.

Por eso usaremos una reja fina para este proceso de desbaste, de forma que permita filtrar el agua y retener los posibles sólidos de menor tamaño que aparezcan en el agua.

5.1.1.2 Tratamiento estándar

El tratamiento estándar, como ya hemos dicho, será físico y químico. Tendrá una primera etapa de coagulación-floculación-decantación, otra de resinas de intercambio iónico, y una de filtración.

5.1.1.2.1 CFD

Esta etapa se divide en tres procesos diferentes, pero antes de comenzar a explicarlos, es importante mencionar que se ajustará el pH 8-10 ya que usaremos sales de hierro durante el proceso de coagulación.

Para aumentar el nivel de pH de agua podemos usar sosa cáustica. Este soluto subiría 0,6 el nivel de pH por cada 10 ppm. Al tener que subir el pH de 7 a 9, necesitaríamos 3,4 ppm de sosa cáustica en el agua. **También sabemos que la cantidad agua consumida del tanque 2 al día es de 200 m^3** , por lo que podemos calcular la cantidad necesaria de sosa cáustica.

$$ppm = \frac{\text{Masa del soluto (g)}}{\text{Volumen de la solución (m}^3\text{)}}$$

$$g(\text{sosa cáustica}) = 200 \text{ m}^3 * 3,4 \text{ ppm} = 680 \text{ g}$$

Por lo que sería necesaria una cantidad de 680 gramos de sosa cáustica al día para poder elevar el nivel de pH del agua.

- **Coagulación:** La coagulación es el proceso en el cual se agregan productos químicos coagulantes al agua cruda. En nuestro caso añadiremos cloruro de hierro (FeCl) para eliminar los fosfatos, que es una de las sales con mayor presencia en el agua del pozo. Este coagulante forma pequeñas partículas sólidas llamadas microflóculos al interactuar con las partículas y sustancias suspendidas en el agua. La coagulación ayuda a que las partículas suspendidas sean más fáciles de eliminar durante el proceso de floculación, y neutralizan la carga eléctrica.



Durante esta etapa se requiere la agitación de la mezcla para facilitar la acción del cloruro de hierro. Por lo que será necesaria la compra de un agitador como el de la imagen. Estos agitadores tienen un precio de 500 euros aproximadamente.

Ilustración 26. Agitador de agua
(Google, s.f)

- **Floculación:** La floculación es el siguiente paso después de la coagulación. Durante este proceso los microfloculos formados durante la coagulación crecen y pasan a ser floculos. Estos floculos tienen una estructura más densa y pueden sedimentar o ser fácilmente separados del agua en etapas posteriores. La floculación promueve la unión de las partículas y las hace más pesadas, lo que facilita su posterior eliminación.

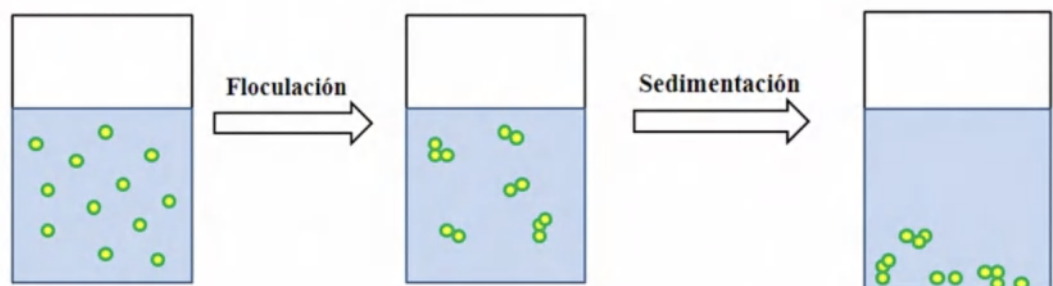


Ilustración 27. Proceso de floculación y decantación (Lifeder, 2023)

Como ya hemos explicado, se puede ver en la imagen que durante la floculación las partículas (microflóculos) se juntan entre sí, y posteriormente sedimentan en la parte inferior.

- **Decantación:** Después de la floculación, el agua pasa a través del proceso de decantación. En esta etapa, el agua se mantiene en reposo en grandes tanques o sedimentadores. Los flóculos pesados formados durante la floculación se asientan por gravedad en el fondo del tanque, mientras que el agua clara se encuentra en la parte superior. Este proceso permite la separación física de los flóculos sedimentados del agua. Los flóculos sedimentados se denominan "lodos" y se retiran del fondo del tanque mediante raspado o extracción para su posterior tratamiento o eliminación. El agua clarificada se retira de la parte superior del tanque y se dirige hacia la siguiente etapa del tratamiento.

Representado gráficamente el esquema del proceso de CFD sería el siguiente:

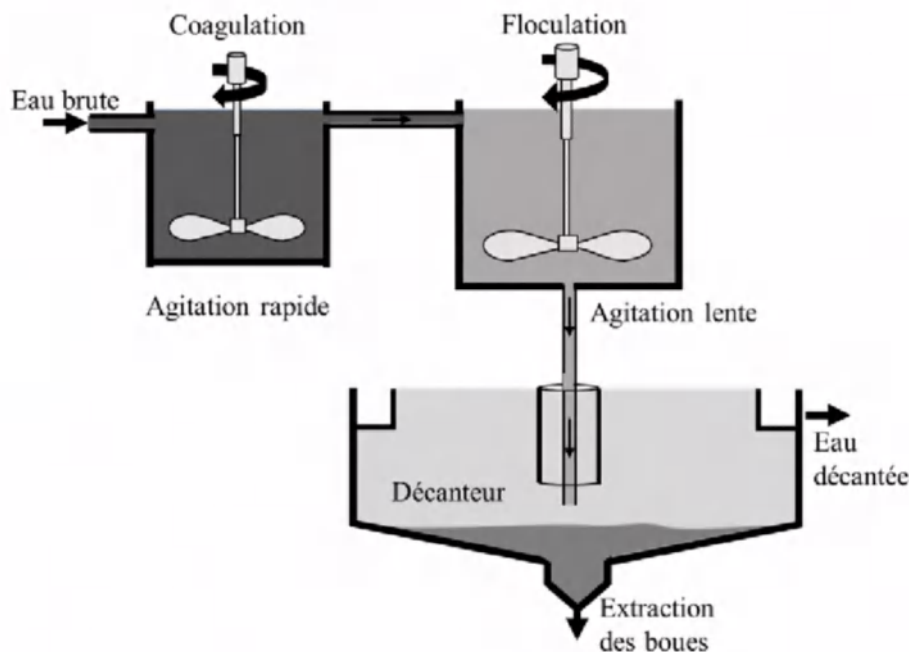


Ilustración 28. Esquema del proceso de CFD (ResearchGate, 2023).

El diseño de CFD y pretratamiento propuesto es el siguiente:

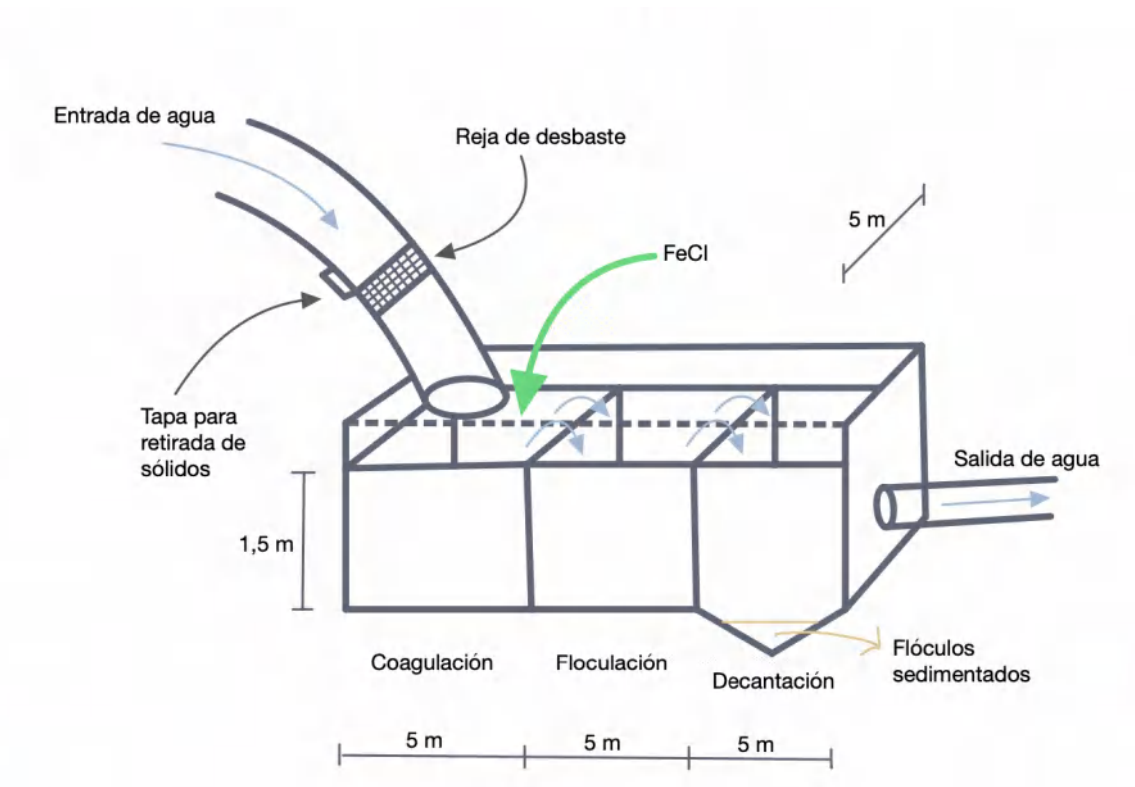


Ilustración 29. Construcción de la ETAP (Imagen de elaboración propia)

Como se puede ver en la imagen extraeríamos agua directamente del tanque 2 mostrado en la ilustración 4, que pasaría por un tubo que incluiría la reja de desbaste. Al tratarse de agua proveniente de un pozo, la reja de desbaste será una reja fina, y no esperamos que atrape muchos sólidos, por lo que no hay riesgo de que se atasque la tubería.

A continuación, tenemos los tanques de coagulación, floculación y decantación. Estos tendrán un volumen de 37.5 m^3 , ya que la cantidad de agua consumida del tanque 2 es aproximadamente de 200 m^3 diarios. De esta forma, sería posible hacer pasar por este proceso toda el agua consumida en un día aproximadamente en 6 horas, teniendo en cuenta que el agua debe reposar una hora en el tanque de decantación.

La instalación se haría junto al tanque 2, para poder seguir aprovechando el mismo sistema hidráulico que distribuye el agua a la aldea. La opción más viable es hacer una construcción de cemento, ya que cuentan con cemento y personal especializado que podría hacerse cargo de la construcción sin necesidad de acudir a empresas externas.

5.1.1.2.2 Filtración

El agua se somete a un proceso de filtración con el objetivo de eliminar partículas finas y microorganismos que puedan quedar suspendidos. Este proceso se lleva a cabo mediante unidades de filtración compuestas por capas de distintos materiales filtrantes, como arena, antracita y grava.

En nuestro caso usaremos una etapa de filtración rápida de arena ya que, como hemos explicado previamente, en Nyumbani ya cuentan con filtros de barro. Este paso permite la eliminación de las partículas de mayor tamaño presentes en el agua, asegurando así una mayor pureza en el proceso de tratamiento.

5.1.1.3 Desinfección

Para la desinfección vamos a usar un proceso de cloración, con el objetivo de proteger la calidad del agua durante la instalación de transporte y suministro de agua.

El proceso de cloración consiste en agregar cloro al agua para desinfectarla y eliminar o inactivar los microorganismos patógenos presentes. Una vez agregado al agua, el cloro reacciona formando ácido hipocloroso (HClO) y iones hipoclorito.

Se produce la siguiente reacción: $Cl_2 + H_2O \rightarrow H^+ + Cl^- + HClO$

El ácido hipocloroso es la forma más efectiva para la desinfección, ya que puede penetrar las membranas celulares de los microorganismos y destruirlos. Estos compuestos reaccionan con los microorganismos presentes, dañando sus membranas celulares y estructuras vitales, lo que lleva a su muerte o inactivación.

Hay que verificar la presencia de cloro residual, que es la cantidad de cloro que queda después de la desinfección. Esto se realiza para asegurar que haya suficiente cloro residual para mantener la desinfección a lo largo del sistema de distribución de agua potable y garantizar su protección contra la contaminación microbiológica. Se debe tener en cuenta que la cloración puede generar subproductos de desinfección, por lo que se pueden utilizar técnicas adicionales o alternativas a la cloración para lograr una desinfección efectiva y reducir la formación de subproductos indeseables.

Tras la etapa de desinfección el nivel de Cl_2 residual debe estar comprendido entre 0.1 mg/L y 0.3 mg/L.

La curva de demanda de cloro explica la cantidad de cloro necesaria:

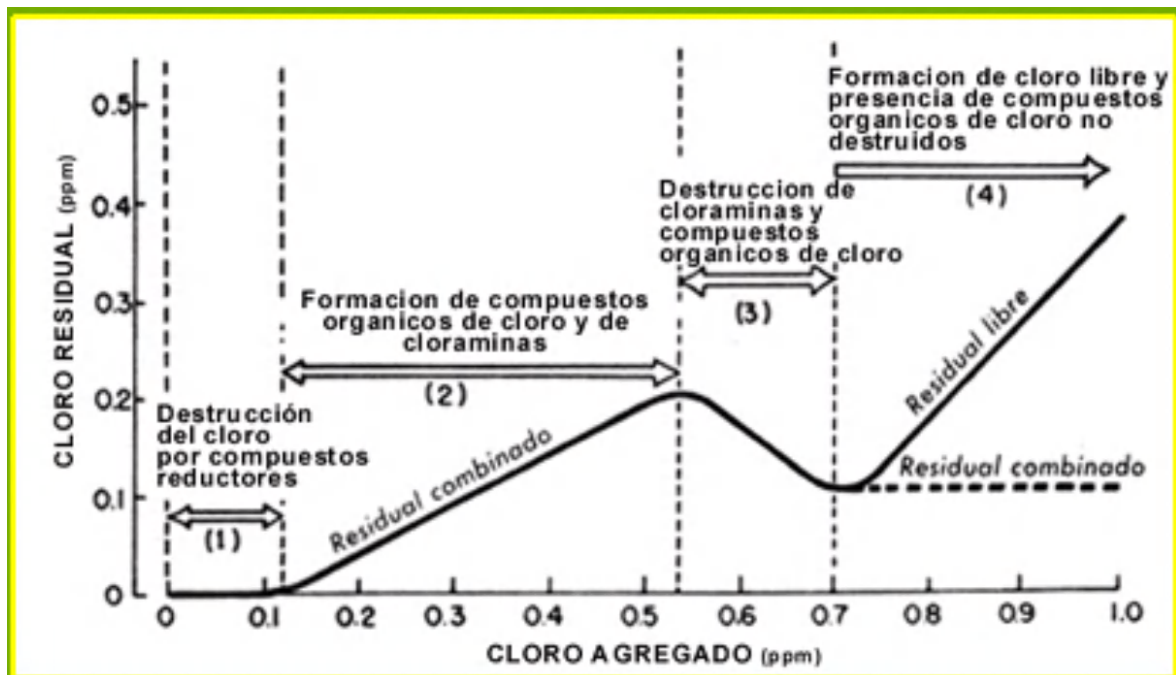


Ilustración 30. Gráfica de demanda de cloro (Transparencias Ingeniería Medioambiental ICAI, 2023)

5.1.2 TRATAMIENTO CON OSMOSIS INVERSA

El esquema de la ETAP para esta opción será el siguiente:

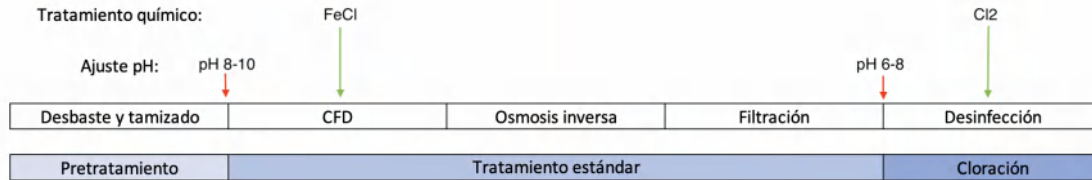


Ilustración 31. Esquema de la ETAP II (Imagen de elaboración propia)

Como podemos observar en la imagen, esta opción conlleva incluir un proceso de ósmosis inversa en el tratamiento estándar. La ósmosis inversa es un proceso que utiliza una membrana semipermeable por la que el agua está obligada a pasar. Esta membrana elimina impurezas del agua, principalmente las sales.

Como ya comentamos, el principal problema del agua de pozo de Nyumbani era su alto contenido en sales, por lo que incluir un proceso de ósmosis inversa en el tratamiento estándar sería la mejor opción. Hay que tener en cuenta que este proceso eleva mucho tanto el precio como el mantenimiento de la ETAP. Además, es necesario instalar una bomba a la entrada de los filtros de ósmosis para asegurar que el agua tiene la presión suficiente como para atravesar la membrana, por lo que también incrementa el consumo eléctrico de nuestra ETAP.

Un ejemplo del filtro de ósmosis inversa que se podría instalar en Nyumbani es el siguiente:



Ilustración 32. Filtro de osmosis inversa de Saset (Saset, 2023)

El precio de este filtro de osmosis inversa es de 330 000 KSh, que aproximadamente son 2.143 euros.

5.1.3 TRATAMIENTO CON RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

El esquema de la ETAP es el siguiente:

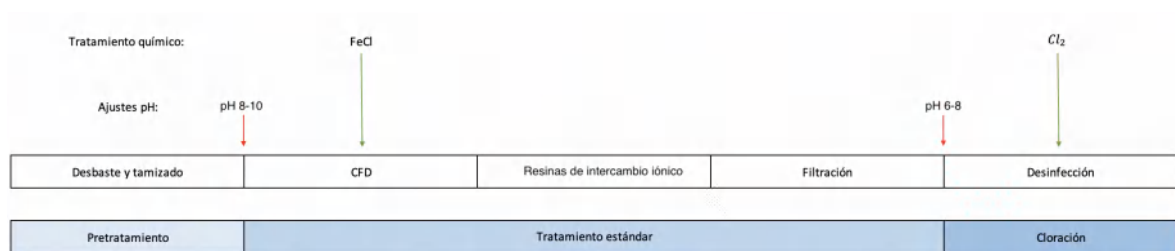


Ilustración 33. Esquema de la ETAP III (Imagen de elaboración propia)

Las resinas de intercambio iónico son ampliamente utilizadas en el proceso de potabilización del agua para eliminar iones no deseados y mejorar su calidad. En nuestra ETAP tendrán como objetivo fundamental eliminar el exceso de cloruros presentes en el agua. Estas resinas son pequeñas partículas sólidas compuestas de polímeros orgánicos cargados con iones específicos. El agua a tratar fluye a través de columnas que contienen las resinas de intercambio iónico. Durante este proceso, los iones presentes en el agua entran en contacto con las resinas, y ocurre un intercambio iónico. Los iones no deseados se adhieren a las resinas, mientras que los iones beneficiosos se liberan en el agua. A medida que las resinas se llenan con los iones no deseados, su capacidad de intercambio iónico disminuye, por lo que se realiza un proceso de regeneración. Se pasa una solución de regeneración a través de las resinas para reemplazar los iones no deseados con iones necesarios. Después del proceso de intercambio iónico y regeneración, el agua resultante contiene niveles reducidos de iones no deseados. Esta agua purificada se recoge y se dirige hacia la siguiente etapa del tratamiento antes de ser considerada apta para el consumo humano.

5.1.4 COMPARACIÓN ENTRE LOS TRES PROCESOS

Con el fin de aclarar las ventajas y desventajas de cada uno de los procesos, en la tabla a continuación se resume de forma visual las características principales de cada uno de los tres procesos:

	Tratamiento simple	Resinas de intercambio	Osmosis inversa
Precio	✗		
Calidad		✗	✗
Mantenimiento	✗		
Viabilidad	✗		✗
Sin necesidad de bomba	✗	✗	

Tabla 2. Comparación de las ETAP (Imagen de elaboración propia)

Las diferencias entre cada una de las ETAP están explicadas detalladamente en los apartados anteriores, como ya hemos comentado antes, esta tabla sólo resume las principales diferencias marcando la mejor opción para cada uno de los apartados.

5.2 DISEÑO DEL FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO

5.2.1 FILTRO DE CARBÓN ÚNICO

Si vamos a comprar un filtro de carbón activado para Nyumbani, es importante tener en cuenta que no tendremos acceso a una gran variedad de filtros, por lo que lo más recomendable sería usar uno de $1\text{ m}^3/h$, ya que es el tamaño más frecuente para este tipo de filtros. Este filtro tiene un precio aproximado de 150 000 KSh, que son 1.000 euros.

Uno de los filtros disponibles para comprar en Kenia es el siguiente de la compañía Saset:



Ilustración 34. Filtro carbón activado de Saset (1m³/h) (Saset, 2023)

Si vamos a instalar un filtro de estas características debemos asegurarnos de que la capacidad del filtro es suficiente. Según la página web de Amigos de Nyumbani, el consumo medio de agua en Nyumbani es 42 L/día por persona. Y en Nyumbani hay 1200 habitantes.

$$\frac{42L}{\text{día}} \text{ por persona} * 1200 \text{ personas} = 50\,400 \text{ L de agua al día consumidos}$$

$$\text{Filtro de } 1 \frac{m^3}{h} = 1000 \frac{L}{hora} = 24\,000L/día$$

Podemos decir que un único filtro de estas características sería suficiente si tenemos en cuenta que la gran mayoría de agua consumida diariamente proviene del pozo.

Para usar un filtro de estas características es necesario recolectar y almacenar toda el agua recogida de las lluvias en un mismo sitio donde coloquemos el filtro. Por eso, además de la opción de comprar un único filtro para potabilizar toda el agua de las lluvias, se estudiará un método para fabricar o comprar varios filtros más pequeños a partir de los recursos naturales disponibles en Nyumbani.

5.2.2 FILTRO DE CARBÓN A PARTIR DE RECURSOS NATURALES

Como ya hemos comentado previamente, en Nyumbani se recoge el agua de lluvia que se almacena en pequeños contenedores distribuidos por toda la aldea. Esto dificulta la opción anterior de comprar un filtro fabricado, ya que habría que comprar uno para cada punto de almacenamiento de agua de lluvia y el presupuesto sería muy elevado.

Otra opción mucho más viable económicamente es la de fabricar pequeños filtros de carbón activado a partir de los recursos naturales disponibles en Nyumbani. Esto no sólo nos permitirá reducir el coste, sino que se podrá purificar el agua de todos los contenedores de agua de lluvia.

Para diseñar los filtros de carbón activado el paso más importante y difícil será el de conseguir el propio carbón activado. En el siguiente diagrama realizado por la universidad nacional de Cuyo en 2013, podemos observar el esquema de proceso necesario para la consecución de carbón activado:

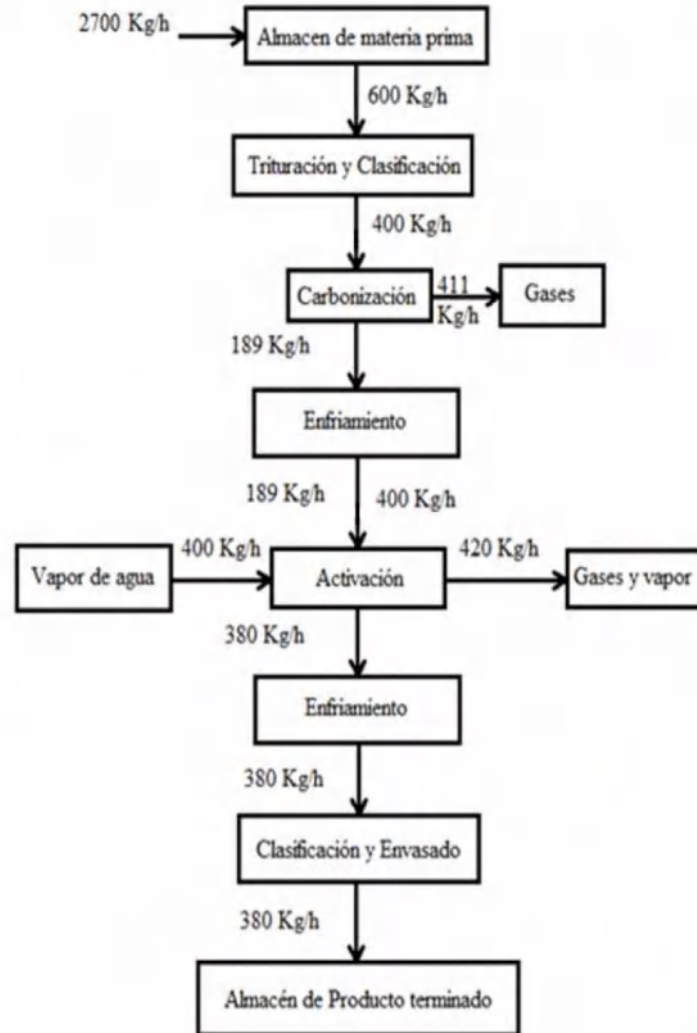


Ilustración 35. Esquema consecución carbón activado (Universidad de Cuyo, 2013)

Hay que tener en cuenta que este esquema está diseñado para una planta de carbonización a partir de materia prima, por lo que nuestro proceso será mucho más sencillo. Este estudio también considera las diferentes opciones a la hora de escoger la materia prima, dentro de las tres opciones principales (carbón, madera, y cáscara de coco) la única solución viable para Nyumbani será la de madera, por lo que escogeremos esa para obtener el carbón activado.

Con la ayuda del esquema, a continuación, se explican los pasos necesarios para conseguir carbón activado a partir de madera:

1. Reunir la materia prima: para ello habrá que cortar y almacenar trozos de madera de unos 5-10 cm aproximadamente.
2. Hacer un fuego: crear una fogata de tamaño mediano en un lugar seguro, ya sea al aire libre o en una chimenea interior. Es importante garantizar que el fuego sea lo suficientemente intenso como para que la madera se queme adecuadamente. Hay que asegurarse de tomar todas las precauciones necesarias para garantizar la seguridad durante el proceso de quemado.
3. Meter la madera en una olla: se llena una olla de metal con pedazos pequeños de madera. Hay que asegurarse de que el material esté seco antes de colocarlo en la olla. Se cubre la olla con su tapa, la cual debe tener agujeros para la ventilación, aunque es importante limitar el flujo de aire al interior de la olla durante el proceso de quemado.

Este proceso durará entre 3 y 5 horas dependiendo de la intensidad del fuego. Cuando la madera ya esté carbonizada y no salgan gases de la olla, podremos pasar al siguiente proceso.

4. Dejar enfriar: antes de manipular la madera carbonizada es imprescindible dejar que se enfríe.
5. Activación del carbón: para ello debemos triturar la madera carbonizada que teníamos en la olla, y dejar que el polvo se termine de secar al aire libre.

Para un tamaño de filtro acorde con cada contenedor de agua, debemos mezclar 100 gramos de cloruro de calcio con 300 mL de agua. Esta mezcla se la añadiremos al carbón, y después de mezclarlo lo dejaremos reposar unas horas, preferiblemente hasta un día de reposo. Si no disponemos de cloruro de calcio no es necesario añadirlo.

Una vez haya reposado la mezcla, la volveremos a calentar en una olla durante 3 horas y ya tendremos nuestro carbón activado.

Una vez obtenido el carbón activado, construiremos un filtro para poder purificar el agua. El filtro que debemos preparar será parecido al de la siguiente imagen:



Ilustración 36. Esquema del filtro de carbón activado (Google, s.f.)

No es necesario que el filtro que fabriquemos sea exactamente igual al de la imagen, pero sí debe incluir una primera capa de piedras o grava, una segunda capa de arena o barro, y una última capa con el carbón activado.

En vez de algodón podemos usar una capa de tela para separar las piedras de la arena y del carbón, y una última capa para evitar que el carbón se caiga del filtro.

Una vez fabricado el filtro, el sistema de potabilización debería quedar así:

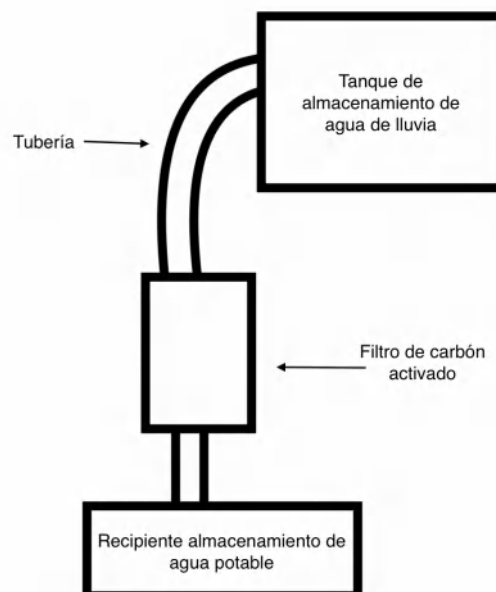


Ilustración 37. Sistema de potabilización para agua de lluvias (Imagen de elaboración propia)

5.2.3 FILTROS DE CARBÓN PARA LLAVES DE PASO

Otra opción posible para purificar el agua de lluvia es comprar filtros pequeños que se puedan instalar en cada uno de los tanques de agua.

La opción más viable serían estos filtros de Jumia:

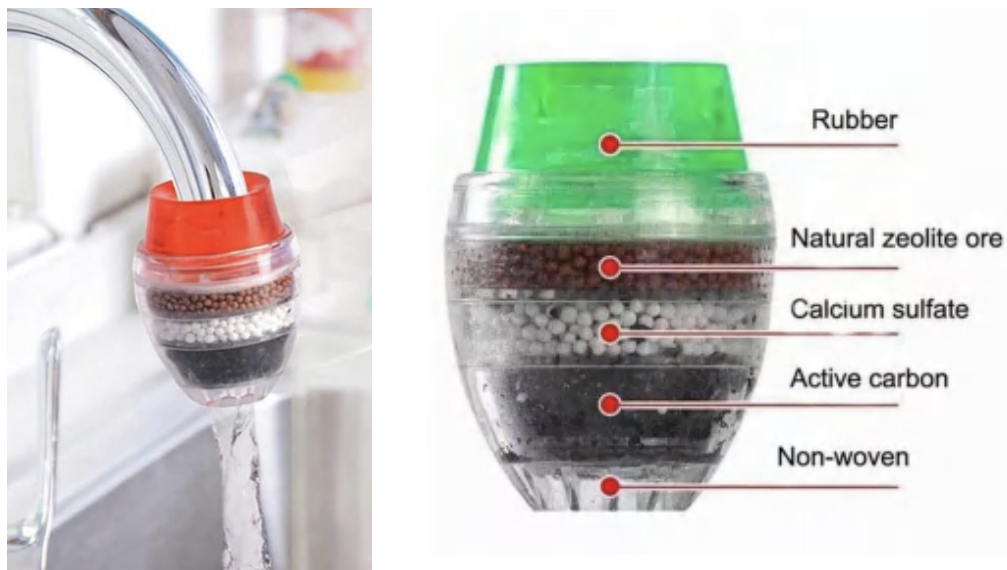


Ilustración 38. Filtros de Jumia (Jumia, 2023)

Estos filtros tienen un precio aproximado de 550 KSh, que son 3,70 euros.

Todos los tanques de agua ya cuentan con un grifo en la parte inferior por lo que se podría colocar el filtro directamente en el grifo.

El único requerimiento necesario sería cambiar los grifos que no funcionen e instalar un grifo similar de 16-17 mm de diámetro. Un grifo de este tipo adaptado para un tanque de agua cuesta aproximadamente 3000 KSh, que serían 20 euros.

Por tanto, instalar el sistema completo costaría 23,70 euros para los tanques de almacenamiento cuyos grifos no funcionen y, para el resto de los tanques de agua de lluvias, tendría un coste de 3,70 euros únicamente.

5.2.4 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES FILTROS

Al igual que con los diferentes procesos de la ETAP, vamos a incluir una tabla que resuma las principales diferencias entre los diferentes filtros, marcando las opciones en las que cada uno de ellos presenta mayores ventajas:

	Filtro único	Recursos naturales	Filtro de grifo
Precio		×	×
Calidad	×		
Mantenimiento		×	×
Sin necesidad de fabricación	×		×
Sin necesidad de cambio	×		
Portable		×	×
Sin transportación de agua		×	×

Tabla 3. Comparación de los filtros de carbón activado (Imagen de elaboración propia)

Capítulo 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este apartado vamos a analizar las opciones presentadas y resumirlas brevemente, además de explicar los posibles trabajos que se podrían realizar en el futuro con el fin de continuar buscando el mejor método de potabilización.

6.1 CONCLUSIONES DE LA ETAP Y FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO

A lo largo de este estudio hemos ido mostrando y explicando las diferentes propuestas de potabilización del agua de pozo y del agua de lluvia recogida. En ambos casos hemos propuesto tres soluciones diferentes con el fin de aportar una mayor variedad y diferentes opciones en función de los recursos económicos que haya disponibles a la hora de llevar a cabo el proyecto.

En cuanto a las tres opciones de diseño de la ETAP, la primera es la más sencilla y viable que asegura una calidad final de agua aceptable. Sin embargo, no conseguiría reducir completamente las sales presentes en el agua, que son el mayor problema que presenta el agua de los pozos de Nyumbani.

La segunda opción, que incluye una etapa de resinas de intercambio iónico, sí conseguiría reducir las sales presentes en el agua, pero la viabilidad de esta opción es menor ya que este tipo de tecnología no se encuentra fácilmente en Kenia. El mantenimiento y el precio de las resinas de intercambio iónico aumenta el coste total del proyecto, pero no tanto como la tercera opción de osmosis inversa.

La última opción, como ya hemos dicho, es la que incluye la etapa de ósmosis inversa. Esta opción es la que más garantías presenta en cuanto a la calidad final del agua. Incluir una etapa de ósmosis inversa implica la eliminación eficaz de las sales presentes en el agua y,

por tanto, la calidad final sería excelente. Sin embargo, el precio total de la instalación sería el más elevado y el mantenimiento requerido también sería mayor.

Dentro de las tres opciones de filtros de carbón activado, la primera de ellas es la de instalar un filtro de Saset. Esta es la opción más cómoda y la que mejor calidad final de agua aporta, ya que supone la centralización del proceso de purificación, y sólo sería necesario instalar un filtro de carbón activado. Sin embargo, esta opción es la más cara y requiere una nueva instalación hidráulica que nos permita centralizar y distribuir toda el agua de lluvia recogida. La segunda opción es la de fabricar filtros de carbón activado a partir de recursos naturales. Esta opción tiene la gran ventaja de que el coste es prácticamente nulo, pero la calidad final del agua depende mucho del proceso de fabricación, que es un proceso largo y no muy fácil de llevar a cabo.

La tercera opción es, en principio, la mejor y más viable. Esta opción es la de comprar los filtros de carbón activado para grifos que se instalarían directamente en los grifos de los tanques de recogida de agua. **Estos filtros tienen un coste 3,70 euros cada uno, y en Nyumbani hay aproximadamente 125 tanques de recogida de agua de lluvia, por lo que el coste total sería de 462,50 euros.** El máximo inconveniente que presenta esta opción es la necesidad de cambiar los filtros de forma periódica a medida que vayan perdiendo efectividad.

6.2 POSIBLES TRABAJOS FUTUROS

Para poder decidir con certeza cuál de las opciones presentadas es la más eficaz para potabilizar el agua de Nyumbani, sería muy útil poder hacer unas pruebas usando cada una de las opciones. De esta forma podríamos analizar el agua tras pasar por el proceso de potabilización, y ver la calidad final del agua.

Esto sería muy eficaz para poder hacer una valoración más exacta de cada uno de los métodos de potabilización, valorando tanto el coste como la necesidad de mantenimiento y, por supuesto, la calidad final del agua.

También sería muy útil para saber la duración efectiva que tiene los filtros de carbón activado, y así poder hacer un estudio de cada cuanto tiempo es necesario cambiar los filtros de grifo y los contruidos a partir de recursos naturales.

Para poder hacer un análisis de agua en el futuro, las mejores opciones son coger una muestra de agua y llevarla a Madrid para analizarla en un laboratorio ahí, como por ejemplo en el laboratorio Labo-red, donde ya hemos hecho un análisis de agua para poder diseñar la ETAP. La otra opción es analizar el agua directamente en un laboratorio de Kenia, como el Davis & Shirtliff, donde ya nos han confirmado que pueden realizar todos los ensayos necesarios para analizar el agua.

Otro posible proyecto que se podría hacer en el futuro en relación con el agua de Nyumbani es arreglar las presas de arena que hay en el río. Estas presas fueron diseñadas con el fin de retener el agua del río cuando este fluye en la época de lluvia.



Ilustración 39. Presa de arena en el río (Imagen de elaboración propia)

Actualmente estas presas no están funcionando, debido a la formación de un barro más denso que la arena, que no permite que esta se filtre.



Ilustración 40. Barro formado en el río (Imagen de elaboración propia)

Como se puede ver en la imagen, el barro se forma en la orilla del río, haciendo este cada vez más estrecho e imposibilitando que el agua repose sobre el fondo de arena.

La solución consistiría en remover el barro que se ha formado en las orillas del río con una excavadora, para que el agua vuelva a fluir sobre la superficie de arena. De esta forma las presas retendrían el agua lo suficiente como para que se filtre.

Capítulo 7. BIBLIOGRAFÍA

- [11] Google (s.f.) [Mapa de Google maps mostrando la ubicación de Nyumbani].
Recuperado el 12 de diciembre de 2022.
<https://www.google.com/maps/place/Nyumbani,+Kenia/@1.4117423,32.035013,3.64z/data=!4m6!3m5!1s0x1825baa6283c3f37:0x9fc65d8dd80b7d71!8m2!3d-1.3157709!4d37.8047872!16s%2Fg%2F1q625w4v1>
- [12] Meteoblue (2023). [Gráfico de precipitaciones y temperatura en Kitui].
Recuperado el 17 de marzo de 2023.
https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/kitui_kenia_191038
- [13] Boletín oficial del estado [RD 927/1988 de 29 de julio].
Recuperado el 23 de abril de 2023.
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1988-20883>
- [14] Republic of Kenya, Environmental management, and co-ordination (water quality) regulations, 2006.
Recuperado el 28 de abril de 2023.
[https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC084962/#:~:text=Kenya-Environmental%20Management%20and%20Coordination%20\(Water%20Quality\)%20Regulations%2C%202006%20\(,and%20define%20water%20quality%20standards.](https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC084962/#:~:text=Kenya-Environmental%20Management%20and%20Coordination%20(Water%20Quality)%20Regulations%2C%202006%20(,and%20define%20water%20quality%20standards.)
- [15] Guías para la calidad del agua para el consumo humano, Organización Mundial de la Salud.
Recuperado el 4 de marzo de 2023.
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiI6bOsutz-AhXJTaQEhQX8DkMQFnoECBoQAAQ&url=https%3A%2F%2Fapps.who.int%2Firis%2Frest%2Fbitstreams%2F1136016%2Fretrieve&usg=AOvVaw0hv_QBDF0cqoNJm6xk84tM

- [16] Obtención de carbón activado a partir de madera (Universidad nacional de Cuyo, 2013).
https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/7742/obtencion-de-carbon-activado-a-partir-de-madera.pdf
- [17] Equipos y laboratorio de Colombia. Recuperado el 5 de junio de 2023.
<https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/carbon-activado>
- [18] Jumia. Compra de filtros de carbón activado y grifo.
<https://www.jumia.co.ke/generic-kitchen-faucet-tap-5-layers-activated-carbon-water-filter-purifier-101901389.html>
<https://www.jumia.co.ke/generic-ibc-adapter-garden-water-tank-connector-rainwater-111204463.html>
- [19] Saset. Compra de filtro único de carbón activado.
<https://www.saset.co.ke/product/pure-water-plants-tap-water-purification-system/>
- [20] Amigos de Nyumbani. Recuperado el 5 de junio de 2023.
<https://www.amigosdenyumbani.es/proyectos-agua/>
- [21] Saset. Compra de filtro de osmosis inversa.
<https://www.saset.co.ke/product/reverse-osmosis-system-for-high-fluoride-tds/>
- [22] Ceupe (2023) [Esquema general de una ETAP]
Recuperado el 12 de Julio de 2023
<https://www.ceupe.com/blog/estaciones-tratamiento-aguas.html>
- [23] Universidad de Salamanca- SAS (2023) [Esquema de los ODS]
Recuperado el 12 de Julio de 2023
<https://sas.usal.es/ods/>

- [24] DatosMundial (2023). [Gráfico de comparación de precipitaciones y temperatura entre Burkina Faso y Benín].
Recuperado el 14 de julio de 2023.
<https://www.datosmundial.com/comparacion-climatica.php?r1=benin&r2=bf-est>
- [25] Diseño de un sistema colector con filtro de carbón activado para la potabilización del agua de lluvia en viviendas, Tarapoto 2020.
Marcos Daniel Hidalgo y Luis Ángel Trigozo.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/58843/Hidalgo_RMD-Trigozo_LLA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [26] Evaluación de la filtración de arena para la potabilización del agua en San José de Playón.
María José Rivas y Wendy Johana García, 2017.
<https://repositorio.unicartagena.edu.co/flip/index.jsp?pdf=/bitstream/handle/11227/4154/Tesis%20Garcia%26Rivas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [27] Estudio de un sistema de potabilización de aguas superficiales con productos naturales en Burkina Faso.
Víctor López-Grimau y Beatriz Amante, 2011.
http://dspace.aepro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/1468/CIIP11_1635_1643.pdf?sequence=1
- [28] Proyecto de planta potabilizadora para agua potable en Cidade Velha, Cabo Verde.
Daniel Segura Pérez, 2012.
<https://repositorio.upct.es/handle/10317/2705>
- [29] ResearchGate (2023) [Esquema del proceso de CFD]
Recuperado el 15 de Julio de 2023.
https://www.researchgate.net/figure/performance-de-la-vitesse-de-decantation-durant-les-dernieres-annees-Source-Veolia_fig5_337171276
- [30] Compra de agitador de agua.
<https://docs.gestionaweb.cat/1534/md-flowmim-es-1344584.pdf>

ANEXO I

Calidad exigida a las aguas superficiales que sean destinadas a la producción de agua potable

I. Las aguas superficiales susceptibles de ser destinadas al consumo humano quedan clasificadas en los tres grupos siguientes, según el grado de tratamiento que deben recibir para su potabilización.

Tipo A1. Tratamiento físico simple y desinfección.

Tipo A2. Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección.

Tipo A3. Tratamiento físico y químico intensivos, afino y desinfección.

II. Los niveles de calidad de las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable que fijen los Planes Hidrológicos, no podrán ser menos estrictos que los que figuran en la tabla siguiente para los distintos tipos de calidad figurados en el apartado anterior, salvo que se prevea un tratamiento especial que las haga potables.

TABLA

Parámetro	Unidad	Tipo A1	Tipo A2	Tipo A3
pH	—	(6,5 - 8,5)	(5,5 - 9)	(5,5 - 9)
Color	Escala Pt	20	100	200
Sólidos en suspensión	mg/l	(25)	—	—
Temperatura	°C	25	25	25
Conductividad a 20 °C	μS/cm	(1.000)	(1.000)	(1.000)
Nitratos*	mg/l NO ₃	50	50	50
Fluoruros	mg/l F	1,5	(1,7)	(1,7)
Hierro disuelto	mg/l Fe	0,3	2	(1)
Manganeso	mg/l Mn	(0,05)	(0,1)	(1)
Cobre	mg/l Cu	0,05	(0,05)	(1)
Cinc	mg/l Zn	3	5	5
Boro	mg/l B	(1)	(1)	(1)

Arsénico	mg/l As	0,05	0,05	0,1
Cadmio	mg/l Cd	0,005	0,005	0,005
Cromo total	mg/l Cr	0,05	0,05	0,05
Plomo	mg/l Pb	0,05	0,05	0,05
Selenio	mg/l Se	0,01	0,01	0,01
Mercurio	mg/l Hg	0,001	0,001	0,001
Bario	mg/l Ba	0,1	1	1
Cianuros	mg/l CN	0,05	0,05	0,05
Sulfatos**	mg/l SO ₄	250	250	250
Cloruro**	mg/l Cl	(200)	(200)	(200)
Detergentes	mg/l (laurilsulfato)	(0,2)	(0,2)	(0,5)
Fosfatos*	mg/l P ₂ O ₅	(0,4)	(0,7)	(0,7)
Fenoles	mg/l C ₆ H ₅ OH	0,001	0,005	0,1
Hidrocarburos disueltos o emulsionados (tras extracción en éter de petróleo)	mg/l	0,05	0,2.	1
Carburos aromáticos policíclicos	mg/l	0,0002	0,0002	0,001
Plaguicidas totales	mg/l	0,001	0,0025	0,005
DQO	mg/l O ₂	–	–	(30)
Oxígeno disuelto	% satur.	(> 70)	(> 50)	(> 30)
DBO ₅	mg/l O ₂	(< 3)	(< 5)	(< 7)
Nitrógeno Kjeldahl	mg/l N	(1)	(2)	(3)
Amoníaco	mg/l NH ₄	(0,05)	1,5	4
Sustancias extraíbles con cloroformo	mg/l SEC	(0,1)	(0,2)	(0,5)
Coliformes totales 37 °C	/100 ml	(50)	(5.000)	(50.000)
Coliformes fecales	/100 ml	(20)	(2.000)	(20.000)
Estreptococos fecales	/100 ml	(20)	(1.000)	(10.000)
Salmonellas	–	Ausente en 5.000 ml	Ausente en 1.000 ml	–

* En lagos pocos profundos de lenta renovación.

** Salvo que no existan aguas más aptas para el consumo.

Nota: Las cifras entre paréntesis se tomarán como valores indicativos deseables con carácter provisional.

ANEXO II

QUALITY STANDARDS FOR SOURCES OF DOMESTIC WATER

Parameter	Guide Value (max allowable)
pH	6.5 – 8.5
Suspended solids	30 (mg/L)
Nitrate-NO ₃	10 (mg/L)
Ammonia –NH ₃	0.5 (mg/L)
Nitrite –NO ₂	3 (mg/L)
Total Dissolved Solids	1200 (mg/L)
Scientific name (<i>E.coli</i>)	Nil/100 ml
Fluoride	1.5 (mg/L)
Phenols	Nil (mg/L)
Arsenic	0.01 (mg/L)
Cadmium	0.01 (mg/L)
Lead	0.05 (mg/L)
Selenium	0.01 (mg/L)
Copper	0.05 (mg/L)
Zinc	1.5 (mg/L)
Alkyl benzyl sulphonates	0.5 (mg/L)
Permanganate value (PV)	1.0 (mg/L)

Nil means less than limit of detection using prescribed sampling and analytical methods and equipment as determined by the Authority.