

Estudio de la Calidad del Agua aplicado al consumo de comunidades rurales del Subdepartamento de Bengbis, Provincia del Sur, Camerún

César Hernández Maya

ZYL-cesarhema@gmail.com

Helena Burbano Jambrina

ZYL-helenaburbano@gmail.com

José Luis Rebollo Sánchez

ZYL- jl_rebollo@yahoo.es

Loreto Rebollo Polo

ZYL-loretorebollo@gmail.com

Imma Manresa Santamaría

ZYL-manresa.imma@gmail.com

Resumen

Este estudio es una de las actividades del proyecto del Estudio hidrogeológico del Subdepartamento de Bengbis de la ONGD Zerca y Lejos, con el que se pretende conocer el estado del acuífero y garantizar una buena calidad de las aguas de las que se abastece la población, siendo prácticamente en su totalidad procedentes de aguas subterráneas: manantiales, fuentes y pozos. El estudio sigue una metodología de trabajo que establece tanto un protocolo en el muestreo y en el análisis bacteriológico como la elaboración propia de un equipo de laboratorio que será utilizado en futuras campañas. A partir de los parámetros fisicoquímicos del agua y de la presencia o ausencia de colonias de coliformes en la muestra, se determina si el agua analizada es apta o no para su consumo según las recomendaciones y los criterios estipulados por la OMS.

Palabras clave: Camerún, calidad del agua, laboratorio, análisis, parámetros, contaminación por coliformes, toma de muestra, fuentes, pozos.

Resumo

Este estudo é um das atividades do projeto do hidrogeológico de Estudo de Subdepartamento de Bengbis de ONGD Zerca Y Lejos, com que é buscado conhecer o estado do lençol de água subterrâneo e garantir uma qualidade boa das águas desses que a população é provida, enquanto estando praticamente na totalidade dela vindo de águas subterráneas: fontes e poços. O estudo segue uma metodologia de trabalho que estabelece um protocolo tanto na amostragem e na análise bacteriológica como a característica de elaboração de um time de laboratório que será usado em campanhas futuras. A partir dos parâmetros físico-químicos da água e da presença ou ausência de colônias de coliformes na amostra, é determinado se a água analisada for capaz ou não para seu consumo de acordo com as recomendações e as aproximações especificadas por OMS.

DisTecD. Diseño y Tecnología para el Desarrollo

2014, 2, desde pág. 4 - hasta pág. 18

ISSN: 2386-8546

Palavras chave: Camerún, qualidade da água, laboratório, análise, parâmetros, contaminação para coliformes, levando de amostra, fontes, poços.

1. Contexto en el que se desarrolla el proyecto

El estudio se lleva a cabo en el subdepartamento de Bengbis, situado en el departamento de Dja et Lobo, Provincia del Sur de Camerún, que cuenta con una población de 16.000 a 20.000 habitantes distribuidos en 65 pequeños poblados de no más de 500 habitantes cada uno y diseminados radialmente alrededor de la capital, Bengbis Ville, donde se concentra la mayor parte de la población, unos 3.000 habitantes.

La economía de la región se basa fundamentalmente en una agricultura de subsistencia a través del cultivo de productos locales: plantain, plátanos, macabó, mandioca, cacahuetes, café y aceite de palma, entre otros. El acceso a la sanidad y a la educación es deficiente. La sanidad es de provisión pública aunque no su financiación, por lo que un 30% de la población carece de asistencia médica. La matrícula escolar es gratuita; sin embargo, existe un grave problema de absentismo entre los profesores y alumnos por motivos económicos y sociales que impide garantizar una enseñanza de calidad.

En cuanto a infraestructuras, la región carece de unas condiciones mínimas de habitabilidad básica. Menos del 70% de la población cuenta con acceso al agua segura a menos de 250 m y se abastecen a través de aguas procedentes de fuentes, de las cuales más de una treintena han sido construidas por Zerca y Lejos (ZyL), pozos construidos por distintos programas del gobierno u otros organismos, manantiales naturales como el que aparece en la Figura 1, siendo éste el modo más extendido y/o directamente de los ríos. Tampoco existen servicios de saneamiento como recogida de desechos, alcantarillado o canalización de aguas residuales ni tratamiento de las mismas.



Figura 1. Niño recogiendo agua en un manantial natural cerca de la escuela principal de Bengbis.

El acceso a la electricidad es muy precario fuera de Bengbis Ville. Muchos pueblos cuentan con un enganche a la red, pero no existe ningún tipo de planificación de ampliaciones, ni de potencias contratadas, por lo que la distribución de energía no es constante ni estable, provocando frecuentes incidencias a los usuarios. Las vías de acceso son mayoritariamente pistas de tierra y el transporte público es muy escaso y de promoción privada. La red de telecomunicaciones tiene una cobertura insignificante respecto a la totalidad de la región.

ZyL lleva trabajando en la zona desde 2001, habiendo extendido recientemente su intervención a otras áreas de Camerún. Los proyectos que acomete se organizan en cuatro planes de desarrollo: Salud, Educación, Habitabilidad Básica e Infraestructuras y Animación al Desarrollo Socioeconómico, proporcionando así una acción integrada multidisciplinar.

Desde el inicio de sus acciones, uno de los principales objetivos de ZyL es la mejora del acceso al agua potable segura y al saneamiento saludable, contando para ello con un programa específico, "Agua" que se integra dentro del Plan de Habitabilidad Básica e Infraestructuras. En la Figura 2 se muestra un esquema de los diferentes programas realizados por la comisión de "Habitabilidad Básica e Infraestructuras" dónde se aprecian los proyectos realizados bajo el programa de "Agua". Con este programa se pretende mitigar las enfermedades de transmisión fecal-oral, las parasitosis intestinales o geohelmintiasis y la patología oral, enfermedades más frecuentes entre la población.



Figura 2. Esquema de los diferentes programas realizados por la comisión de "Habitabilidad Básica e Infraestructuras" dónde se aprecian los proyectos realizados bajo el programa de "Agua".

En un estudio de línea de base realizado por ZyL en 2010 (PEREA, C. y BUENO, A. (2010)) se identificó una prevalencia de parásitos intestinales en niños de 5 a 15 años del 63,4 %. Estos trastornos crónicos dificultan el rendimiento escolar y el desarrollo pleno del niño. Una de las principales causas de esta alta prevalencia es el consumo de agua no segura, dado el difícil acceso a infraestructuras en toda la región. ZyL ha contribuido a mitigar este problema construyendo infraestructuras que mejoran la calidad del agua para el consumo humano. Sin embargo, hasta ahora no se había realizado ningún análisis que garantizase la idónea calidad de las aguas consumidas por la población.

Atendiendo a la necesidad de conocer la calidad de las aguas que abastecen a la población del Subdepartamento de Bengbis, se propuso un Estudio de Calidad de Agua como una de las actividades incluidas en el proyecto del Estudio Hidrogeológico del Subdepartamento de Bengbis, siendo un estudio más ambicioso y en el que ZyL aún sigue trabajando. Dicho primer estudio se llevó a cabo durante el mes de agosto de 2013, siendo extrapolable y de gran utilidad para el resto de proyectos en los que trabaja el Plan de Habitabilidad Básica e Infraestructuras en el programa de "Agua". Este estudio contribuye al seguimiento y análisis técnico de las infraestructuras realizadas por ZyL hasta la fecha (Figura 2).

Otro de los logros conseguidos a partir de la propuesta de este estudio es la elaboración propia y la puesta en marcha de un "kit del agua". Su fabricación fue llevada a cabo por ZyL y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) a semejanza de otros kits de fabricación comercial, que se utilizan en el ámbito de la cooperación. El reto es demostrar la eficacia del nuevo kit y crear un manual de manejo y un protocolo de utilización en el laboratorio, una vez verificada su validez científica. ZyL desea legar este trabajo a todas aquellas personas, asociaciones o proyectos que requiera de su utilización con los mismos fines.

2. Metodología del Estudio

2.1. Parámetros a estudiar

Los parámetros que se tienen en cuenta en el estudio son aquellos que según la Organización Mundial de la Salud [2] tienen mayor incidencia sobre la salud humana siguiendo la máxima de que *“el agua de consumo debe tener un aspecto, sabor y olor aceptables para el consumidor”*. Estos parámetros son seis y se pueden medir con los principales kits del agua comercializados. La elección de estos parámetros, cinco de los cuales son fisicoquímicos y uno biológico, se debe tanto a la fácil medición de los mismos como a la detallada información que aportan sobre el agua en ese determinado punto. En la interpretación de los resultados se han tenido en cuenta los baremos adaptados para países en situaciones similares a Camerún, como es el caso de Tanzania [3]. Los parámetros y los valores de los mismos que determinan si un agua es apta para su consumo y que han sido utilizados por ZyL en el estudio son los siguientes:

- El **pH** es una expresión del carácter ácido o básico de un sistema acuoso. Corresponde al logaritmo cambiado de signo de la concentración de protones: $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$. Para el agua de consumo, el pH debe estar comprendido entre 6,5 y 8, siendo los valores óptimos los más próximos a 7.
- La **Conductividad Eléctrica (CE)** de una muestra de agua se relaciona con la capacidad para transportar una corriente eléctrica y está relacionado con la concentración de compuestos iónicos en disolución. El valor máximo para que el agua se considere potable es de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- El **Total de Sólidos Disueltos (TDS, por sus siglas en inglés)** es una medida de las sustancias orgánicas e inorgánicas, en forma molecular, ionizada o micro-granular, que contienen los líquidos. El límite aceptable sería menor a 1000 mg/l.
- **Turbidez o turbiedad** es la falta de transparencia de un líquido debida a la presencia de partículas en suspensión o coloidales. La turbidez mediana debe ser menor que 5 UNT (unidades nefelométricas de turbidez) para que sea aceptable para su consumo.
- La **Temperatura** es una magnitud que puede ser medida con un termómetro en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$). El agua fría tiene, por lo general, un sabor más agradable que el agua tibia, considerándose más adecuada para el consumo. Al aumentar la temperatura disminuye la solubilidad del oxígeno en el agua.

- El número de **Colonias de Coliformes Fecales (CCF)** es el indicador más concluyente a la hora de determinar si un punto de agua resultó contaminado o no y es el único parámetro biológico del agua que contempla este estudio. La bacteria *Escherichia coli* (*E. coli*) está presente en grandes concentraciones en la microflora intestinal normal de las personas y los animales donde, por lo general, es inocua. Sin embargo, en otras partes del cuerpo *E. coli* puede causar enfermedades graves, como infecciones de las vías urinarias, bacteriemia y meningitis. Los distintos serotipos de la bacteria *E. coli* producen diarrea que puede ser leve y no hemorrágica hasta altamente hemorrágica, siendo esta última indistinguible de la colitis hemorrágica. Entre el 2% y el 7% de los enfermos desarrollan el síndrome hemolítico urémico (SHU), que puede ser mortal y se caracteriza por insuficiencia renal aguda y anemia hemolítica. Los niños menores de cinco años son los que tienen más riesgo de desarrollar el SHU (OMS, 2006). La infectividad de ciertas cepas es sustancialmente mayor que la de otras cepas y a veces son necesarias en ocasiones tan sólo 1000 bacterias para que puedan causar infección. En este estudio se mide el número de colonias de coliformes fecales (CCF) por cada 100 mililitros de agua y el valor considerado como óptimo para el consumo es de 0 CCF/ 100 ml de agua, aunque son aceptables valores entre 5 y 10 CCF/ 100 ml de agua atendiendo a la realidad de determinados entornos y circunstancias locales, siendo este último un rango poco recomendable.

2.2. Material a utilizar durante el estudio

El primer paso del proyecto consistió en diseñar y construir el equipo básico de laboratorio, similar en prestaciones a otros comerciales, pero de considerablemente más bajo coste.

El modelo comercial a imitar fue el *Potatest: Emergency Rapid Reponse Kit (Physico-Chemical + Microbiologyc)*, WAG-WE 10005 de la casa *Wagtech* especializada en equipamiento de laboratorio para determinaciones de la calidad del agua.

La elaboración de un Kit del agua propio pretende de forma creativa abaratar los costes en el acceso a material tan sofisticado y necesario en la realización estudios de calidad de agua (ECOLUTIONA.BLOGSPOT.COM.ES. *El EcoKIT del Agua - Parte 3: Autoconstrucción*).

Los elementos fabricados e imprescindibles para llevar a cabo un análisis bacteriológico son el aparato de filtración para la obtención de muestras y la incubadora para crecimiento de bacterias. La misión encomendada al filtro es generar una cavidad aislada por la que sólo se pudiera hacer entrar agua mediante la aspiración y paso del agua a través del filtro, y constituir una cámara térmica con un margen de temperatura controlado.

Una vez realizados varios ensayos con distintas soluciones se decidió utilizar como base una cafetera de tipo italiano, convenientemente adaptada, para las labores de filtrado por cumplir las funcionalidades de adaptabilidad, facilidad de montaje, bajo coste y ser fácilmente manipulable para las necesidades del proyecto. Utilizando goma plástica moldeable y piezas de PVC de diámetro seleccionado, se consiguió el nivel de aislamiento deseado y se pudo

garantizar que todas las piezas del conjunto cumplieran con el comportamiento exigido (Figura 3).

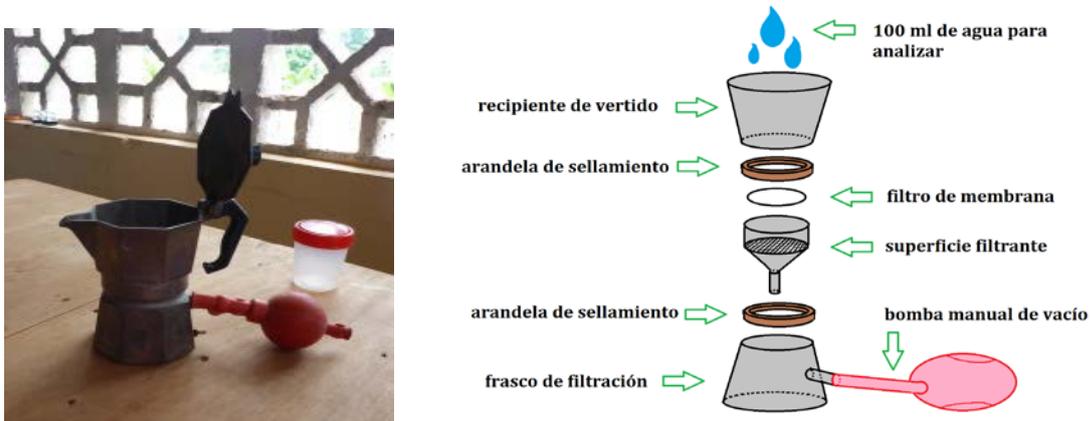


Figura 3. Fotografía del aparato de filtración ya ensamblado utilizado en el estudio y esquema de los componentes que lo configuran.

El segundo equipo desarrollado fue una incubadora para el cultivo de bacterias. Se trataba de obtener una cámara donde se pudiese controlar la temperatura dentro del margen en el que se desarrollan las bacterias objeto del estudio. Para ello se procuró un recipiente cilíndrico de chapa galvanizada que constituiría la cavidad principal donde se alojarían las placas Petri con las diferentes muestras que se ponían a ensayar. El calentamiento se realiza enrollando una resistencia de silicón a lo largo de la superficie exterior del recipiente cilíndrico. El control térmico se consiguió mediante un termostato electrónico controlado por una resistencia NTC instalada dentro de la cámara, que activa o desactiva la alimentación de la resistencia en función de la temperatura interior de dicha cámara, y que está monitorizada por una sonda térmica con presentación digital. El equipo dispone de un potenciómetro de ajuste para garantizar que está trabajando dentro del margen deseado en cada caso (Figura 4).



Figura 4. Fotografía del interior de la incubadora de las muestras vista desde arriba. El diodo encendido visible en la imagen indica que la resistencia está activada y generando calor.

El resto de instrumentos, componentes y materiales hasta completar el equipo necesario para la consolidación del laboratorio móvil, fueron adquiridos en el mercado a través de distribuidores de laboratorio o en tiendas de material especializado. El material para el análisis se muestra en la Tabla 1.

1. Recipientes para recogida muestras de agua de 100 ml.	2. Almohadillas para contener el medio.	3. Filtros de membrana de 47 mm de diámetro, poro 0'45µm
4. Placas Petri.	5. Pinzas para manipular.	6. Guantes desechables.
7. Elementos de desinfección.	8. Mantel plástico o hule.	9. Agar Lauril Sulfato.
10. Agua destilada.	11. Jeringuillas graduadas	12. Tarros calibrados.
13. Báscula de precisión.	14. Autoclave para desinfectar.	15. Medidor de pH, CE y TDS.
16. Termómetro.	17. Tubo transparente de Pitot.	18. Metro.
19. Lupas. Microscopio.	20. Calentador de agua.	21. Tijeras.
22. Cuadernos.	23. Cuerda.	24. Alcohol. Lejía.
25. Tubos de ensayo con tapón.	26. Incubadora.	27. Bomba manual de vacío.
28. Reloj. Cronómetro.	29. Bolígrafo.	30. Tubo de turbidez (Turbidímetro).
31. Unidad de filtración de membrana.	32. Mochila.	33. Bolsa refrigeradora para llevar muestras.
34. Rotulador permanente.	35. Cubo calibrado.	36. GPS
37. Cámara de fotos.		

Tabla 1: Listado de material necesario para el análisis físico-químico y bacteriológico de las muestras en los diferentes puntos del agua, así como para su análisis y documentación.

En Camerún, fue necesario disponer de un lugar aislado y tranquilo donde ubicar de manera permanente el laboratorio y centro de análisis. La sala seleccionada fue una de las dependencias de acceso restringido al público del dispensario de Adjoli, donde ZYL mantiene el centro de sus actividades médicas y odontológicas en el subdepartamento de Bengbis. Bajo los principios de higiene, pulcritud y asepsia, se estableció el primer laboratorio de este tipo en la misión.

2.3. Campaña de campo

En este primer estudio, se definió una campaña de campo con 21 puntos de muestreo (Figura 5), localizados en la zona centro del subdepartamento. La zona estudiada representa una superficie de 150 Km², de los 4.000 Km² que ocupa todo el subdepartamento de Bengbis.

La selección de los puntos representa todas las diferentes tipologías de lugares de abastecimiento de agua dentro del área delimitada. Esta selección incluye tanto el muestreo de las aguas aportadas por infraestructuras construidas por ZYL: pozos con bomba de mecate, pozos con bomba India Mark y fuentes mejoradas, así como de aguas que afloran en manantiales, charcas, ríos y pequeños flujos de escorrentía.

Durante la campaña se visitaron los 21 puntos seleccionados previamente. En función de la tipología del lugar, se hacía una descripción específica considerando aspectos desde el punto de vista ingenieril (si se trataba de infraestructuras tales como fuentes o pozos), o hidrológico (para ríos, charcas y pequeños arroyos).



Figura 5. Área delimitada del estudio donde se encuentran todos los puntos seleccionados para el muestreo y el análisis durante la campaña de campo.

Las muestras se tomaron utilizando recipientes de toma de muestra de polipropileno de 100 ml, análogos a los utilizados en medicina para recogida de muestra para diagnóstico clínico.

A la hora de selección del punto para la toma de muestra se tuvo en cuenta el riesgo de contaminación, por lo que siempre se desprecintaba el recipiente in situ y se manipulaba con sumo cuidado por su parte exterior, pretendiendo que el interior cumpliera con los criterios de asepsia demandados. Las muestras se tomaban directamente de las fuentes, o en el centro de los caudales, de cara a la corriente, en un tiempo mínimo para evitar flujos de contaminación (figura 6).



Figura 6. Detalle de la recogida manual de muestra de agua en una fuente mejorada de poco caudal.

Seguidamente las muestras en sus envases correspondientes eran almacenadas en una bolsa térmica para mantener las condiciones iniciales hasta el tiempo de análisis (Figura 7).



Figura 7. Bolsa térmica con las muestras recogidas un día de campaña con recipientes de polipropileno justo antes de ser analizados.

3. Trabajo de laboratorio y análisis

Para preparar el medio de cultivo para el crecimiento de las colonias de coliformes se utilizan unas proporciones de agar lauril sulfato similares a las usadas por otros equipos comercializados. En la preparación del medio de cultivo para 8 muestras se utilizan 1,5 g de agar lauril sulfato en 20 ml de agua destilada y a continuación se esteriliza el medio de cultivo y se enfría ligeramente. Se introduce a continuación la cantidad necesaria de medio de cultivo para cada muestra en la placa Petri correspondiente y sobre una almohadilla de celulosa que va a ser el soporte del medio de cultivo en cada una de las placas de forma individualizada. Tras haber preparado el medio de cultivo, se procede al filtrado de las muestras de agua a analizar a través de los filtros de membrana de tamaño de poro de 0,45 μm donde se podrían encontrar las bacterias si la muestra estuviera contaminada. Posteriormente se introducen hasta un máximo de 6 placas en la incubadora donde se someten durante 19 horas a una temperatura preestablecida de 44 °C, variando en un rango de 41°C a 45°C durante los ciclos de trabajo. En la figura 8 se muestra el proceso de preparación en el laboratorio.



Figura 8. Proceso de preparación del medio de cultivo de bacterias en el laboratorio de Zyl en Camerún.

4. Resultados y conclusiones

En todos los lugares visitados, se contactó con los consumidores más directos, para conocer el uso de la infraestructura y del recurso, los hábitos de la población, las demandas del

recurso en general y así tener una idea más exacta de la relación diaria de los habitantes con el agua. Durante estas conversaciones se completó la información que disponía ZYL inicialmente, como por ejemplo fuentes en desuso por rotura, falta de mantenimiento, o ciertas percepciones de la población que no habían sido escuchadas con anterioridad y que suponen una valiosa información para la organización.

Por ello, algunos de los puntos previstos para toma de muestra pasaron a ser sustituidos por otros donde la población tomaba realmente el agua. Así se pasó de 21 a 24 puntos, y como algunos de ellos necesitaron dos puntos de toma de agua para mayor confirmación, se analizaron como puntos independientes por lo que se analizaron 27 puntos. Para aprovechar el equipo y el personal desplazado al lugar, se decidió estudiar 5 puntos más de los seleccionados en principio fuera del área estimada inicialmente, para recoger máxima información, con los que se consideraron en total 32.

Las tipologías de los puntos de toma de muestra fueron muy variadas, divididas en 6 grupos: charcas, fuentes mejoradas, pozos con bomba India Mark, pozos con bomba de mecate, ríos y un aljibe. De toda la información recogida detallando situación y descripciones técnicas se dejó constancia en: “Estudio de la calidad del agua y de la infraestructura hidráulica” [5] (Figura 9).

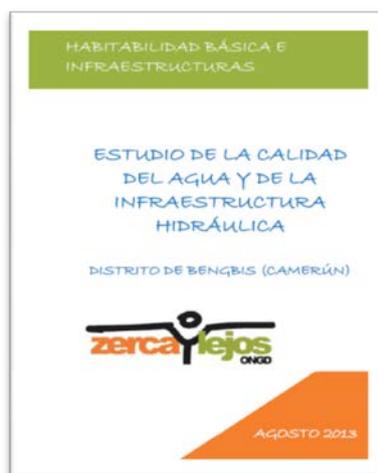


Figura 9. Portada del estudio elaborado por Zerca Y Lejos tras la campaña de agosto de 2013.

Debido a que no se pudieron tomar muestras en todos los puntos, se realizaron análisis bacteriológicos de 22 muestras, considerado el número de colonias de coliformes fecales CCF/100 mL. de agua el parámetro determinante para validar si el consumo del agua en ese punto se consideraba perjudicial para la salud o no. El criterio seguido para las 22 muestras es:

- Agua *no contaminada y apta para consumo*: entre 0 y 5 CCF/100 ml de agua analizada.
- Agua parcialmente contaminada, no recomendada para consumo: entre 5 y 10, CF/100 ml.
- Agua contaminada, *no apta para consumo*: más de 10 CCF/100 ml de agua

También se determinaron otros parámetros, como temperatura, pH, CE, TDS y turbidez. Aunque no en todos los puntos fue posible la medida de todos ellos, pero se intentó recoger el

máximo de información de cada lugar. Además se registró la posición GPS de los lugares y, en ciertos ríos o fuentes mejoradas, se midieron otros datos como caudal y velocidad del agua.

Como resultado del estudio, el documento supone una explicación de cómo reproducir el estudio realizado, los parámetros a estudiar y sus baremos aceptables. También se refleja el listado de materiales y un detallado manual, paso a paso, de la elaboración de todas las mediciones, procesos de toma de muestras, elaboración de los ensayos y análisis de los resultados. Con todo ello, Zyl cumplió con el objetivo de generar una herramienta a la que pudieran acudir todas aquellas personas que en el futuro se pudieran sumar a los proyectos de la organización y no tuvieran conocimientos previos al respecto.

Los resultados del estudio obtenidos en agosto de 2013 forman parte de una red de datos integrado en el *Estudio Hidrogeológico del Subdepartamento de Bengbis*, que junto con los proyectos de construcción de infraestructuras (Escuelas Saludables y Agua para todos), Zyl pretende mejorar la calidad de las aguas que abastecen a la población del subdepartamento de Bengbis. Los resultados definitivos están aún en proceso de estudio.

Respecto a las inspecciones técnicas de las infraestructuras, el estudio ha supuesto una fuente de información de los elementos a mejorar y optimizar, que ha servido de reflexión a la comisión de "Habitabilidad Básica e Infraestructuras" de Zyl para trabajar en el futuro y seguir generando puntos de abastecimiento de agua seguros para el consumo. Algunas de las reflexiones y mejoras se refieren a técnicas de reprofundización de pozos, instalación de bombas de mecate, reprofundización de fuentes mejoradas para facilitar el correcto drenaje, selección de nuevos lugares para construcción de fuentes, refuerzo en hábitos de limpieza de fuentes y su utilización por la población local. Como retos para el futuro la necesidad de realizar un seguimiento continuo de los parámetros del agua en los puntos muestreados para poder garantizar una mejora en la calidad del agua de consumo, y por otro lado la constatación de que un equipo básico de fabricación propia puede ser igual de efectivo que uno comercial. Los resultados obtenidos han confirmado que la calidad del agua en infraestructuras de pozos y fuentes es mejor que en manantiales, ríos y arroyos. Los resultados se muestran en Tabla 2.

NOMBRE DETALLADO LUGAR		TIPO PUNTO	DE	CCF/100 ml	RESULTADO
BENGBIS I.	FUENTE CERCA DE LA ESCUELA	Charca		más de 50	Contaminada: No apta para consumo
	FUENTE CERCA CAMPO FÚTBOL.	Fuente mejorada		1,5	No contaminada: Apta para el consumo
	POZO LA LEPROSERÍA.	Bomba India Mark		0,5	No contaminada: Apta para el consumo
MEKA'A.	FUENTE. (CAÑO DERECHO)	Fuente mejorada		8	Parcialmente contaminada: No recomendable consumo
	FUENTE. (CAÑO IZQUIERDO)	Fuente mejorada		0	No contaminada: Apta para el consumo
MESSE.	FUENTE CERCA DE LA CHEFERIE.	Fuente mejorada		3	No contaminada: Apta para el consumo
MELONDO.	CHARCA DE PIEDRA.	Charca		más de 50	Contaminada: No apta para consumo
MELONDO	CHARCA CON BAMBÚ	Charca		más de 50	Contaminada: No apta para consumo
NGOUNAYOS	POZO DEL CRUCE. (FUENTE)	Fuente mejorada		5	Parcialmente contaminada: No recomendable consumo
AKAM II.	FUENTE. (BOMBA DEL PUEBLO)	Bomba India Mark		7,5	Parcialmente contaminada: No recomendable consumo
MIMBANG.	FUENTE.	Fuente mejorada		más de 50	Contaminada: No apta para consumo
ADJOLI	FUENTE MONELOBO (CAÑO DERECHO)	Fuente mejorada		0,5	No contaminada: Apta para consumo
	FUENTE MONELOBO(CAÑO IZDO	Fuente mejorada		0	No contaminada: Apta para consumo
BENGBIS II	POZO DE LA ESCUELA.	Bomba de Mecate		más de 50	Contaminada: No apta para consumo
	FUENTE	Fuente mejorada		0	No contaminada: Apta para consumo
RÍO MBIZO'O		Río		más de 50	Contaminada: No apta para consumo
RÍO NGBWEMBE.	AGUAS ARRIBA	Río		más de 50	Contaminada: No apta para consumo
	AGUAS ABAJO	Río		más de 50	Contaminada: No apta para consumo
RÍO SOBO.	BAJO EL PUENTE.	Río		más de 50	Contaminada: No apta para consumo
RÍO MIYAMIBOT.		Río		más de 50	Contaminada: No apta para consumo
ADJOLI.	ALJIBE DE LA MISIÓN.	Aljibe		más de 50	Contaminada: No apta para consumo
MIMBIL.	FUENTE CAMPAMENTO BAKA	Fuente mejorada		más de 50	Contaminada: No apta para consumo

Tabla 2. Resultados obtenidos en los 22 puntos analizados según tipología y calificación.

Considerando también aquellos puntos en los que no se pudieron tomar muestras, se muestran en la tabla 3 los resultados de los 32 puntos visitados y la clasificación de los mismos en función de los resultados:

Total puntos visitados	32
Sin datos bacteriológicos	10
No contaminada: Apta para el consumo	7
Parcialmente contaminada: No recomendable el consumo	3
Contaminado: No apta para el consumo	12

Tabla 3. Clasificación de los puntos estudiados en función del resultado de los ensayos bacteriológicos.

Se obtuvo documentación fotográfica de los resultados, con el fin de mantener un archivo de los análisis de las muestras, como por ejemplo las figuras Figura 10 y 11.



Figura 10. Filtro de muestra con presencia de más de 50 CCF/100 ml de agua, inaceptable para consumo humano Tomada río Ngbwembe el 19/08/2013.



Figura 11. Filtro de muestra sin presencia de CCF/100 ml, apta para consumo humano. Tomada en caño izquierdo de fuente Monelobo el 20/08/2013.

Para el análisis conjunto de los datos, se procedió a la unificación de las valoraciones, considerando hasta 10 colonias de coliformes en el agua como *aceptables* para el consumo, y a aquellas que superasen este valor como *inaceptables*. De esta manera los datos globales de los análisis con sus correspondientes porcentajes pudieron ser resumidos en la Tabla 4:

22 puntos de agua analizados bacteriológicamente	
10 aceptables	12 inaceptables
45,45%	54,55%

Tabla 4. División porcentual de la totalidad de los puntos analizados en laboratorio.

A pesar de la claridad de los datos, el resultado fue esperanzador y supuso la confirmación de que el trabajo de ZyL está suponiendo una mejora real en la calidad del agua que consumía la población.

Como detalla el estudio, los resultados se dividieron en función de las 6 tipologías definidas, de manera que quedó patente por los datos, que el 100% de las muestras de río analizadas (5 puntos en total) resultaron no aptas para el consumo, mientras que el 80% de las muestras tomadas en fuentes mejoradas por Zyl resultaron ser aceptables (sobre 10 análisis), y el 100% de las muestras tomadas en pozos con bombas de India Mark (sobre 2 análisis) también resultaron aptas para el consumo humano, según el criterio establecido en todo momento en el estudio, de estar trabajando en zonas con pocas infraestructuras y en vías de desarrollo. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

Cantidad de elementos	Cantidad aceptable	Cantidad inaceptable
3 Charcas	0 aceptables 0%	3 inaceptables 100%
10 Fuentes mejoradas	8 aceptables 80%	2 inaceptables 20%
2 Bombas India Mark	2 aceptables 100%	0 inaceptables 0%
1 Bombas de Mecate	0 aceptables 0%	1 inaceptables 100%
5 Ríos	0 aceptables 0%	5 inaceptables 100%
1 Aljibe	0 aceptables 0%	1 inaceptables 100%

Tabla 5. Tabla resumen de los elementos analizados y el porcentaje de ellos aceptables o no para el consumo humano en función del análisis bacteriológico.

Como resultados del estudio:

1. Los datos obtenidos confirman que gracias a las infraestructuras hidráulicas, el agua de consumo pasa a tener mejor calidad que la que presentaría de no haber sido acometidas, y por lo tanto, suponen un beneficio directo en la salud de la población.

En la figura 12 se muestra un ejemplo de fuente mejorada y como es utilizada por la población.

2. Se ha construido un kit del agua incluyendo un aparato de filtrado y una incubadora que cumplen con las expectativas de suponer un conjunto de herramientas fiables y de coste fácil de asumir para poder realizar mediciones científicas.
3. Se ha creado un manual sobre el material, el laboratorio, y el protocolo de utilización y planificación de futuras campañas que Zyl desea legar a todas aquellas personas, asociaciones o proyectos que requieran de su utilización con los mismos fines.



Figura 12. Consumidores habituales cameruneses tomando agua de la fuente mejorada de Monelobo realizada por Zyl, cuya agua resultó apta para el consumo según el estudio.

Referencias

HERNÁNDEZ MAYA, CÉSAR. *Estudio de la calidad del agua y de la infraestructura hidráulica en el distrito de Bengbis (Camerún)*. Informe inédito. ONGD Zerca y Lejos. 2013.

Guías para la calidad del agua potable. OMS (Organización Mundial de la Salud). NLM: WA 675. Versión electrónica para la web. Suiza: Ediciones de la OMS. 2006.

PEREA, C. *Estudio de línea de base: Informe sobre Sistema Educativo. Arrondissement de Bengbis*. Informe inédito. ONGD Zerca y Lejos. 2010.

ECOLUTIONA.BLOGSPOT.COM.ES. *El EcoKIT del Agua - Parte 3: Autoconstrucción* [en línea]. <http://ecolutiona.blogspot.com.es/p/blog-page_9.html>. Ecolution-a. Madrid. Vídeo explicativo. Disponible en web: <<https://www.youtube.com/watch?v=LZ9WLnCad1M>>.

TANZANIA BUREAU OF STANDARDS. *Tanzania water quality standards. Tanzania Standard TZS 789: 2008*. Tanzania. 2009 [en línea]. <<http://frameweb.org/CommunityBrowser.aspx?id=4408>>.

Agradecimientos

En primer lugar agradecer a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid y a los profesores José Antonio Mancebo Piqueras y María Teresa Hernández Antolín por su apoyo y ayuda en todo momento.

También agradecer a toda la gente que forma parte del equipo de Zerca y Lejos que en un momento u otro y de muchas maneras distintas han hecho posible que el proyecto se pueda llevar a cabo.

Y gracias a todas las personas que en Camerún y en España aportaron, ayudaron y dieron parte de su tiempo para que este trabajo saliera adelante.