

La bomba de mecate en abastecimientos de agua y aplicaciones para la seguridad alimentaria

José Antonio Pérez González

Grupo de Cooperación Sistemas de Agua y Saneamiento para el Desarrollo. ETSIDI. Universidad
Politécnica de Madrid
joseprzgonzalez@gmail.com

José Antonio Mancebo Piqueras

Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. ETSIDI. Universidad Politécnica de Madrid
ja.mancebo@upm.es

Resumen

El camino de la lucha contra el hambre pasa por asegurar la disponibilidad y la accesibilidad de los alimentos para todas las personas. Para poder garantizar esto se requiere de un apoyo tecnológico tanto en la mejora de la productividad, obteniendo mayor cantidad de alimentos de calidad por superficie cultivada, cómo en los recursos empleados y la accesibilidad de los mismos. Es en este punto dónde las tecnologías aplicadas al desarrollo humano juegan un papel decisivo.

Este artículo plantea el empleo de la Bomba de Mecate sobrelevada (BM-II) como método para lograr la Seguridad Alimentaria y su aplicación a un caso concreto. Nacido del trabajo desarrollado en el Grupo de Cooperación Sistemas de Agua y Saneamiento para el Desarrollo y el proyecto de Innovación educativa Diseño y Tecnología para el Desarrollo Humano desde el laboratorio de Hidráulica Aplicada de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial (ETSIDI) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

Palabras clave: Seguridad Alimentaria, Bomba de Mecate y Cooperación para el desarrollo.

Resumo

O caminho da luta contra a fome passa por garantir a disponibilidade e acessibilidade de alimentos para todos. Para poder garantir isso requer tanto apoio tecnológico para melhorar a produtividade, obtendo mais alimentos de qualidade por área plantada, como sobre os recursos utilizados e da disponibilidade dos mesmos. É neste ponto em que as tecnologias aplicadas para o desenvolvimento humano são fundamentais.

Este artigo discute o uso da bomba Mecate sobrelevada (BM- II) como um método para alcançar a segurança alimentar e sua aplicação a um caso particular. Nascido do trabalho desenvolvido no Grupo de Cooperação Sistema de Água e Sanamento para o Desenvolvimento e o projeto de Inovação Educativa Desenho e tecnologia para o Desenvolvimento Humano do Laboratório de Hidráulica Aplicada da Escola de Engenharia e Desenho Industrial (ETSIDI) da Universidade Politécnica de Madrid (UPM).

Palavras-chave: Segurança Alimentar, Bomba de Corda, Desenvolvimento Humano.

DisTecD. Diseño y Tecnología para el Desarrollo
2014, 1, desde pág. 158 - hasta pág. 167
ISSN: 2386 – 8546

1. Estudio de la situación actual. La Seguridad Alimentaria, los Objetivos de Desarrollo del Milenio y el mercado de valores de productos alimenticios

El concepto de seguridad alimentaria hace referencia a la disponibilidad sostenible de alimentos, el acceso de las personas a ellos y el aprovechamiento biológico de los mismos, para lograr que esta seguridad fuera plena debería extenderse esta estabilidad a todas las personas.

Se debe disponer de fuentes de alimentos seguras y estables para poder asegurar este acceso. La agricultura, la ganadería o pesca, como fuentes de alimentos, dependen del acceso y disponibilidad de agua.

Conseguir una vida digna, larga y saludable depende, además del acceso a alimentos y agua, de que otras necesidades como la habitabilidad, el saneamiento o el acceso a los sistemas de salud sean cubiertas.

Con el fin de acercar las condiciones de vida de todos los individuos a esta idea, en la Cumbre del Milenio celebrada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el año 2000, se establecieron los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). Estos Objetivos se componen de una serie de metas, ordenadas por orden de prioridad en la lucha contra la pobreza, a lograr para el año 2015, tomando como referencia los valores del año 1990, estableciendo unos logros porcentuales sobre cada meta u objetivo.

Los ODM son: 1. Erradicar la pobreza extrema y el hambre; 2. Lograr la enseñanza primaria universal; 3. Promover la igualdad entre los géneros y la autonomía de la mujer; 4. Reducir la mortalidad infantil; 5. Mejorar la salud materna; 6. Combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades; 7. Garantizar el sustento del medio ambiente y 8. Fomentar una asociación mundial para el desarrollo.

La importancia de la Seguridad Alimentaria y la lucha contra el hambre se plasma como la primera prioridad, siendo el objetivo 1. Este fin se plasma en la primera de las metas, meta 1: reducir a la mitad, entre 1990 y 2015, la proporción de personas que sufren hambre. Los datos aportados por el Foro para la Alimentación y la Agricultura (FAO) respecto a esta meta están lejos de cumplirse (Figura 1).

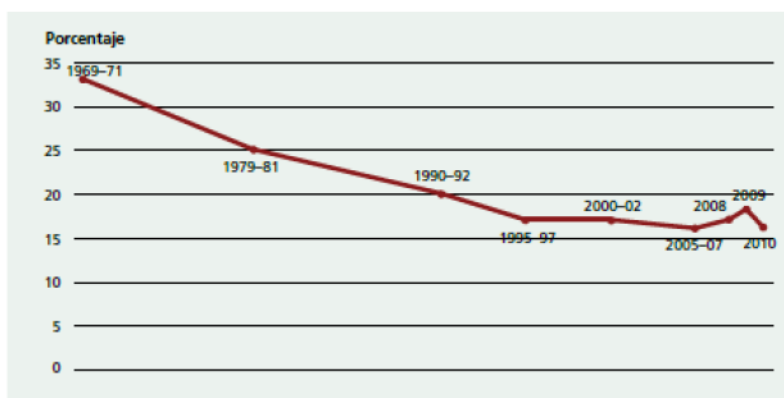


Figura 1. Tendencia en el porcentaje de personas subnutridas (FAO, 2010).

Mientras el acceso al agua de calidad y saneamiento mejorado tiene un efecto transversal sobre muchos de estos objetivos. Su importancia no se refleja hasta el objetivo 7 en la meta

14: reducir a la mitad, para 2015, la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento.

Para observar la relación que existe en la pobreza y la falta de agua y saneamiento se compara el Índice de Desarrollo Humano (IDH), indicador de desarrollo humano por países, calculado a partir de la esperanza de vida, tasa de alfabetización y el Producto Interior Bruto, con las coberturas de acceso a agua y saneamiento (Figura 2 y Figura 3).

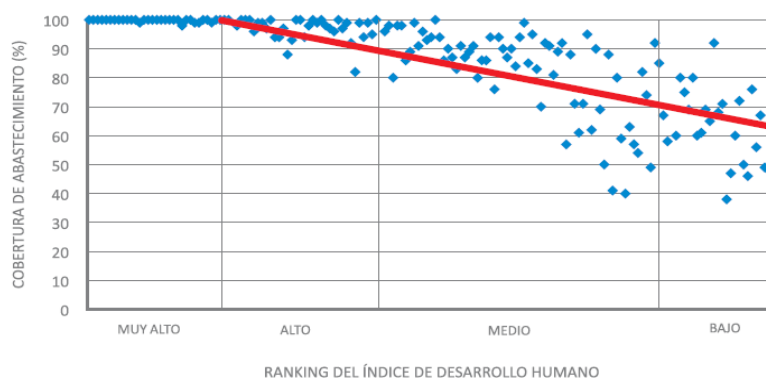


Figura 2. IDH-Cobertura de abastecimiento (PÉREZ-FOGUET y JIMÉNEZ, 2011).

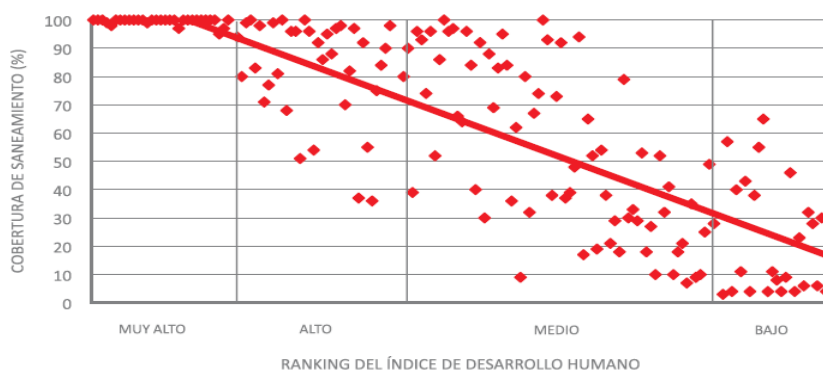


Figura 3. IDH-Cobertura de saneamiento (PÉREZ-FOGUET y JIMÉNEZ, 2011).

Viéndose en ambos casos una dispersión de puntos que deja a ver la relación tan directa que une estas dos situaciones extremas.

2. Estudio de tecnologías apropiadas en el abastecimiento de agua y saneamiento. Microrriegos y sistemas de impulsión

El mercado ofrece multitud de alternativas para solventar la problemática desde el planteamiento de la excavación del pozo hasta la implantación y puesta en marcha del sistema de riego. En la siguiente tabla (Figura 4) se muestran comparados varios de los muchos modelos de bombas manuales empleados actualmente en África (MANCEBO PIQUERAS y REBASSA TOUS, 2010). En esta comparación la Bomba de Mecate en sus dos variantes resulta ser una tecnología efectiva y de menor coste de instalación y mantenimiento que las otras alternativas de bombeo.

Comparación entre bombas manuales					
Parámetro	BM-I	BM-II	AFRIDEV	NIRA	INDIA MARK II
Costo (€)	200 – 300	375 - 400	1000,00	1100,00	2750,00
Caudal a 20 m (l/h)	1.000 - 1.500	1.000 - 1.500	900,00	1400,00	900,00
Profundidad máxima (m)	45,00	40,00	45,00	25,00	80,00
Coste mantenimiento (€/año)	10,00	15,00	100,00	60,00	135,00
Reparaciones	No requiere técnico	No requiere técnico	Requiere técnico	Requiere técnico	Requiere técnico
Material	Local	Local	Local/Importado	Importado	Importado

Figura 4. Comparación entre distintos tipos de bombas manuales (MANCEBO PIQUERAS y REBASSA TOUS, 2010).

Además otorga a beneficiarios autonomía e independencia, fomentando el desarrollo de los mercados locales, al ser sus componentes, recambios y la mano de obra de operación de origen local.

3. Propuesta de alternativa mediante Bomba de Mecate sobreelevada (BM-II)

En la aplicación práctica se tomará como referencia valores climatológicos de Mozambique, posición 185 de un total de 187 países en el IDH de 2013 y contando con numerosos sistemas de abastecimiento de agua mediante Bomba de Mecate en su territorio. A partir de esta base se plantea el diseño de un sistema de impulsión, abastecimiento y microrriego para uso familiar en este país del continente africano.

3.1. Cálculo de las necesidades de agua

El diseño del sistema partió de las siguientes consideraciones:

- Consumo de agua para riego. Partiendo de los datos del Instituto Nacional de Estadística mozambiqueño sobre los cultivos más empleados, el consumo de cada uno de ellos de agua y su valor nutricional se diseñó el siguiente huerto modelo (de 30m de radio) (Figura 5).

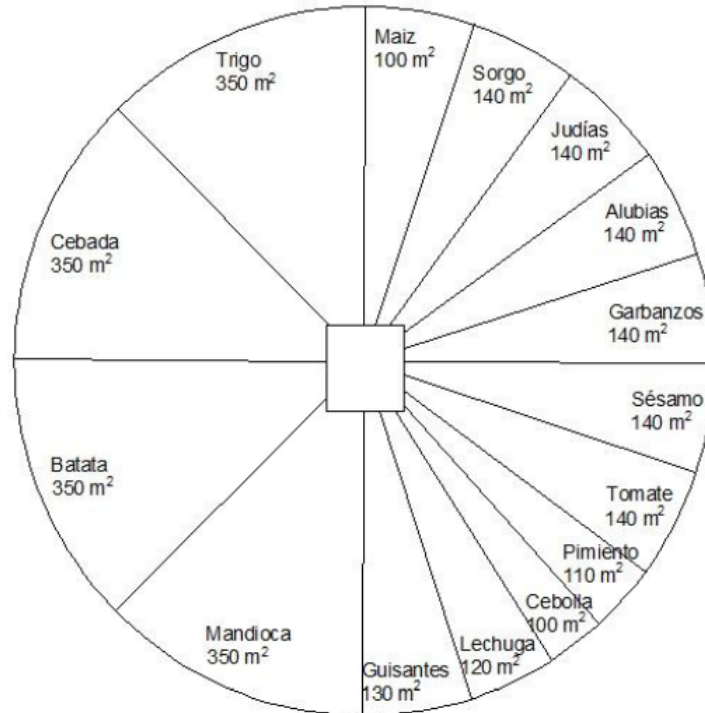


Figura 5. Huerto modelo (PÉREZ GONZÁLEZ, 2013).

- Consumo doméstico y pecuario:

- o Familia: ocho miembros, consumo de 35 litros/persona-día.
- o Animales domésticos: una vaca, consumo de 40 litros/vaca-día; cinco gallinas, consumo de agua despreciable y tres cabras, consumo de 5 litros/cabra-día.

El consumo total de agua será la suma del consumo de estas dos partidas menos la pluviometría.

El cálculo del consumo de agua para riego se basa en la pluviometría de la región y el concepto de la evapotranspiración (ET₀) que aúna el agua transpirada por cada planta y evaporada por las características del clima (temperatura y radiación solar) y del terreno. Calculándose para cada mes a partir de la siguiente expresión:

$$C_{agua} = P_{Tm} \cdot S_{TC} - \sum_N^n K_{NC} \cdot ET_{0m} \cdot S_{NC}$$

Dónde:

P_{Tm} (mm) son las precipitaciones totales del mes M.

S_{TC} (m²) es la superficie total cultivada.

S_{NC} (m²) es la superficie sembrada del cultivo N.

K_{NC} es el coeficiente del cultivo N del periodo de crecimiento correspondiente al mes M.

ET_{0M} (mm) es la evotranspiración correspondiente al mes M.

Calculando el consumo segregado por ambas partidas, sumándolo, y restándole la pluviometría se obtienen, para cada mes, las siguientes necesidades de bombeo (Figura 6. Necesidades de bombeo).

Necesidades de bombeo mensual											
Mes	Días	Pluviometría (mm)	Consumo del riego (mm)			consumo humano (l)		consumo animal (l)		consumo total (l)	Necesidad de bombeo (l)
			diario	mensual	cada 4 días	diario	mensual	diario	mensual		
Ene	31	146,4	2925,195	90681,045	22670,2613	280	8680	55	1705	33055,2613	32908,8613
Feb	28	156	220,357	6169,996	1542,499	280	7840	55	1540	10922,499	10766,499
Mar	31	202,2	1376,448	42669,888	10667,472	280	8680	55	1705	21052,472	20850,272
Abr	30	122	1455,948	43678,44	10919,61	280	8400	55	1650	20969,61	20847,61
May	31	32,4	1131,830	35086,73	8771,6825	280	8680	55	1705	19156,6825	19124,2825
Jun	30	15	1126,295	33788,85	8447,2125	280	8400	55	1650	18497,2125	18482,2125
Jul	31	11,3	842,600	26120,6	6530,15	280	8680	55	1705	16915,15	16903,85
Ago	31	7,9	94,940	2943,14	735,785	280	8680	55	1705	11120,785	11112,885
Sep	30	2,2	173,460	5203,8	1300,95	280	8400	55	1650	11350,95	11348,75
Oct	31	11,3	878,280	27226,68	6806,67	280	8680	55	1705	17191,67	17180,37
Nov	30	41,6	2577,752	77332,56	19333,14	280	8400	55	1650	29383,14	29341,54
Dic	31	124,5	2816,352	87306,912	21826,728	280	8680	55	1705	32211,728	32087,228

Figura 6. Necesidades de bombeo (PÉREZ GONZÁLEZ, 2013).

Estas necesidades mensuales de bombeo en litros se deben transformar en necesidades mensuales de bombeo en horas para poder estudiar la viabilidad del proyecto.

El caudal obtenido depende de quién realice el accionamiento y de las características de la instalación (altura total de elevación entre la superficie libre del agua en el fondo del pozo y en el depósito elevado y tipo de bomba instalada) (Figura 7. Necesidades de bombeo en litros).

Capacidad de bombeo (BM-II)							
Profundidad (m)	Altura total (m)	P (W)		Caudal (l/s)		Caudal (l/h)	
		Niño	Adulto	Niño	Adulto	Niño	Adulto
5,0	10,00	44,00	88,00	0,449	0,897	1.614,68	3.229,36
7,5	12,50	44,00	88,00	0,359	0,718	1.291,74	2.583,49
10,0	15,00	44,00	88,00	0,299	0,598	1.076,45	2.152,91
12,5	17,50	44,00	88,00	0,256	0,513	922,67	1.845,35
15,0	20,00	44,00	88,00	0,224	0,449	807,34	1.614,68
17,5	22,50	44,00	88,00	0,199	0,399	717,64	1.435,27
20,0	25,00	44,00	88,00	0,179	0,359	645,87	1.291,74

Figura 7. Necesidades de bombeo en litros (PÉREZ GONZÁLEZ, 2013).

Por las características de la BM-II se ha limitado la altura de sobre elevación a 5 metros sobre el nivel del suelo para esta aplicación (pudiendo llegar a 7 en otras aplicaciones) y por las limitaciones de caudal y potencia obtenidas cuando el accionamiento lo realice un niño se ha limitado la profundidad del pozo a 15 metros, realizándose todos los cálculos a partir de estos parámetros.

Realizando la conversión obtenemos las siguientes necesidades de bombeo mensuales y diarias en horas (Figura 8. Necesidades de bombeo en horas).

Necesidad de bombeo mensual en horas								
Mes	Días	Necesidad de bombeo (l)	Caudal (l/h)		Necesidad de bombeo (h)		Necesidad diaria (h)	
			Adulto	Niño	Adulto	Niño	Adulto	Niño
Ene	31	32908,86	1435,27	717,64	22,93	45,86	0,74	1,48
Feb	28	10766,50	1435,27	717,64	7,50	15,00	0,27	0,54
Mar	31	20850,27	1435,27	717,64	14,53	29,05	0,47	0,94
Abr	30	20847,61	1435,27	717,64	14,53	29,05	0,48	0,97
May	31	19124,28	1435,27	717,64	13,32	26,65	0,43	0,86
Jun	30	18482,21	1435,27	717,64	12,88	25,75	0,43	0,86
Jul	31	16903,85	1435,27	717,64	11,78	23,55	0,38	0,76
Ago	31	11112,89	1435,27	717,64	7,74	15,49	0,25	0,50
Sep	30	11348,75	1435,27	717,64	7,91	15,81	0,26	0,53
Oct	31	17180,37	1435,27	717,64	11,97	23,94	0,39	0,77
Nov	30	29341,54	1435,27	717,64	20,44	40,89	0,68	1,36
Dic	31	32087,23	1435,27	717,64	22,36	44,71	0,72	1,44

Figura 8. Necesidades de bombeo en horas (PÉREZ GONZÁLEZ, 2013).

3.2. Diseño del sistema de abastecimiento y riego por goteo

Mediante la Bomba de Mecate se eleva el agua hasta un depósito elevado desde el cual se efectúa el riego por goteo. El diseño del sistema de abastecimiento es el siguiente (Figura 9. Esquema de cálculo hidráulico).

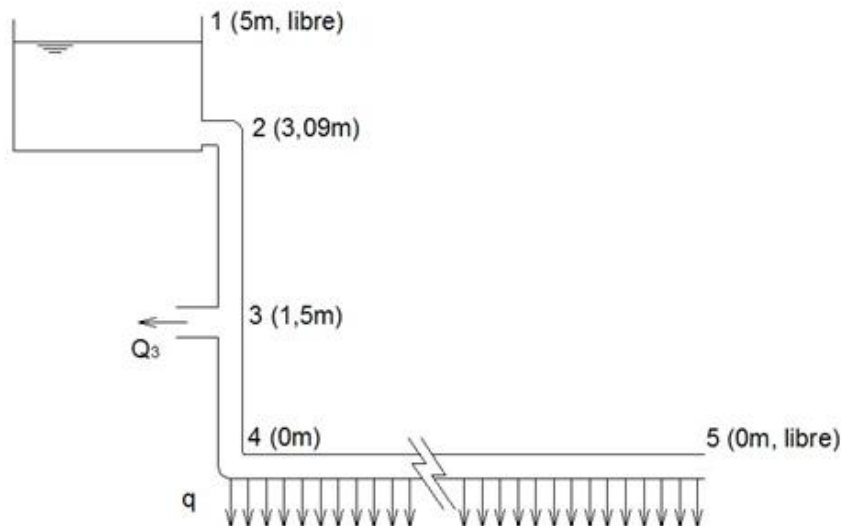


Figura 9. Esquema del cálculo hidráulico (PÉREZ GONZÁLEZ, 2013).

El cálculo se basa en la aplicación del teorema de Bernoulli entre cada pareja de puntos para poder dimensionar el diámetro de los diferentes tramos de conducciones.

$$z_A + \frac{p_A}{\gamma} + \alpha \cdot \frac{v_A^2}{2g} = z_B + \frac{p_B}{\gamma} + \alpha \cdot \frac{v_B^2}{2g} + Y_{A-B}$$

Consideraciones:

- El riego por goteo se efectúa entre los puntos 4 y 5, situados a 30 metros, con punteros situados cada 0,25 m sirviendo 5 l/h, equivalente a un derrame uniforme de 1,25 l/hm.
- El punto 3 situado bajo el depósito se toma como punto de suministro de agua para uso humano y animal. Debemos tener una sobrepresión de 3 m.c.a.

Al aplicar este principio entre cada par de puntos debemos considerar diferentes valores de la velocidad, pérdidas de carga (según el tipo de abastecimiento), coeficientes de Coriolis (según el régimen de movimiento), alturas, velocidades, etc.

Teorema de Bernoulli entre los puntos 4 y 5:

$$z_4 + \frac{p_4}{\gamma} + \alpha \frac{v_4^2}{2g} = z_5 + \frac{p_5}{\gamma} + \alpha \frac{v_5^2}{2g} + Y_{4-5}$$

Pérdidas de carga dadas por la fórmula experimental:

$$Y_{4-5} = \lambda \cdot L_{4-5} \cdot \phi^{-5} (Q_5^2 + q \cdot Q_5 \cdot L_{4-5} + \frac{q \cdot L_{4-5}^2}{3})$$

Al encontrarnos en régimen turbulento (coeficiente de Coriolis de valor unidad) y calculando el diámetro entre los puntos 4 y 5:

$$z_4 + \frac{p_4}{\gamma} + \alpha \frac{v_4^2}{2g} = z_5 + \frac{p_5}{\gamma} + \alpha \frac{v_5^2}{2g} + \lambda \cdot L_{4-5} \cdot \phi^{-5} (Q_5^2 + q \cdot Q_5 \cdot L_{4-5} + \frac{q \cdot L_{4-5}^2}{3})$$

$$D_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,04 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot 1}} = 0,0036m \text{ (Aproximado al mínimo comercial de 4 mm)}$$

El cálculo de la presión disponible en el pto. 4 se debe realizar partiendo del pto. 2

$$z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha \frac{v_2^2}{2g} = z_4 + \frac{p_4}{\gamma} + \alpha \frac{v_4^2}{2g} + \lambda \frac{v_{2-4}^2}{2g \cdot D_{2-4}} \cdot L_{2-4} \quad 3,09 + 1,86 + 1 \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} = 0 + \frac{p_3}{\gamma} + 1 \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} + 0,0143 \frac{1^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,021} \cdot 3,09$$

$$\frac{p_4}{\gamma} = 4,82 \text{ m. c. a.}$$

Teorema de Bernoulli entre 1 y 2:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha \frac{v_2^2}{2g} + Y_{1-2}$$

Al encontrarnos en régimen turbulento (coeficiente de Coriolis de valor 2) y poder aplicar la fórmula de Darcy-Weisbach para las pérdidas de carga:

$$z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha \frac{v_2^2}{2g} = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + Y_{2-3}$$

$$3,09 + 1,86 + 1 \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} = 0 + \frac{p_3}{\gamma} + 0,0143 \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,021} \cdot 3,09$$

$$\frac{p_3}{\gamma} = 4,82 \text{ m. c. a.}$$

Con más de 3 m.c.a. nos aseguraremos que la presión a la salida del punto de agua es adecuada para el servicio humano. Vistos los resultados se cumplen todos los requisitos requeridos en el diseño.

4. Conclusiones y perspectivas de futuro

La Bomba de Mecate se presenta como una tecnología apropiada de bajo coste adecuada para aplicaciones tanto familiares como comunitarias, su diseño sencillo y robusto otorga a esta bomba manual gran versatilidad de aplicación en diversos contextos.

El modelo BM-II al ofrecer la posibilidad de elevar hasta seis metros el agua sobre el nivel del suelo desvincula a la familia o comunidad del pozo pudiendo encontrarse el punto de agua a cierta distancia de la captación de la misma al poder transportarse el agua mediante gravedad.

De su aplicación para riego por goteo se extrae como conclusión que con este sistema se fortalece el mercado local, al ser todos los componentes y sistemas de origen local (en el caso de Mozambique o Nicaragua), favoreciendo la desvinculación de la ayuda y la durabilidad de los proyectos a largo plazo.

Un sistemas de abastecimiento de agua y riego por goteo favorece el empoderamiento de la mujer al reducir el número de horas que estas invierten en recoger agua, fortaleciendo la economía familiar (podrán vender el exceso de producción a sus vecinos) y liberando a las niñas de la casa de ayudar en las tareas del hogar pudiendo aprovechar ese tiempo para sus estudios y juegos.

Es mucho el camino que queda por recorrer en el abastecimiento de agua y saneamiento, especialmente en el segundo, y en la lucha por la Seguridad Alimentaria.

Para poder seguir avanzando en estas líneas en el contexto actual de crisis económica y reducción de las ayudas oficiales a la Cooperación para el Desarrollo sistemas como la Cooperación Sur-Sur las colaboraciones público-privadas pueden ser una opción para llenar el vacío dejado por la reducción de la ayuda oficial al desarrollo.

5. Referencias

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Humano (2013). *Informe sobre Desarrollo Humano. El ascenso del Sur*. Nueva York, Estados Unidos de América.

Pérez González, J.A. (2013). *Diseño de un sistema de impulsión de agua con Bomba de Mecate o de cuerda. Aplicación de riego por goteo para la seguridad alimentaria*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

Pérez-Foguet, A., Jiménez, A. y otros autores (2011). *El agua como elemento clave para el desarrollo*. Canal de Isabel II. Madrid, España.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2011). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Las mujeres en la agricultura. Cierre de la brecha de género en áreas del desarrollo*. Roma, Italia.

Mancebo Piqueras, J.A. y Rebassa Tous G. (2010). *Bomba de Mecate Sobreelevada (BM-II). Manual práctico de Construcción, instalación, operación y mantenimiento*. Ingeniería Sin Fronteras Asociación para el Desarrollo. Madrid, España.

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Humano (2006). *Informe sobre Desarrollo Humano. Más allá de la escasez: poder, pobreza y la crisis mundial del agua*. Nueva York, Estados Unidos de América.