

UNIVERSITAT JAUME I

Escuela Superior de Tecnología i Ciencias Experimentales



INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL

Proyecto de cooperación para el desarrollo en Etiopía:
Rediseño y optimización de un sistema de riego por goteo en
una parcela experimental en *woreda* Fogera, Etiopía.

Estudiante: Inés Torán Gascón

Directoras: Leonor Lapeña y Leonor Hernández

Convocatoria: febrero de 2016

*“Theory without practice is lame;
Practice without theory is blind;
Theory and practice makes Skilful
and Capable”*

Albert Einstein

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a la OIPEP por brindarme la oportunidad de ser una de las beneficiarias de la beca Prácticas Solidarias en Países Empobrecidos, habiéndome hecho partícipe de una experiencia única e inolvidable.

A Leonor Hernández López, por su gran ayuda y colaboración, puesto que sin ella no hubiese sido posible.

A Leonor Lapeña Barrachina, por mostrar siempre con entusiasmo su interés y sobre todo, por la confianza depositada en mí.

A Laura Martínez Mifsut, por su ayuda, por haber compartido juntas esta experiencia y haber sido compañeras incondicionales de viaje.

A mi familia y a mi novio, por haberme dejado marchar a un país tan lejano y desconocido para ellos como es Etiopía, a pesar de sus miedos.

A todas aquellas personas que, de un modo u otro han hecho posible, mediante su ayuda y participación que este proyecto siguiera adelante.

A todos, gracias.

ÍNDICE

MEMORIA

1. ANTECEDENTES	6
2. CONTEXTO GENERAL	7
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO	9
3.1 OBJETIVOS GENERALES	9
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
4. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	10
5. ÁREA DE ESTUDIO Y SITUACIÓN INICIAL	11
5.1 ÁREA DE ESTUDIO	11
5.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	12
5.3 CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS	13
5.4 AGRICULTURA	16
5.4.1 SITUACIÓN DE LA AGRICULTURA EN ETIOPÍA	16
5.4.2 SITUACIÓN DE LA AGRICULTURA EN LA REGIÓN DE AMHARA	16
5.4.3 IMPORTANCIA DE LOS CULTIVOS “CASHCROP” Y RIEGO POR GOTEO PARA LOS AGRICULTORES	18
5.5 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO ACTUAL	19
5.5.1 DESCRIPCIÓN	19
5.5.2 CARACTERÍSTICAS	20
5.5.3 ACCESIBILIDAD Y PROCEDENCIA DEL AGUA	24
5.5.4 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO ACTUAL	25
5.5.5 TIEMPO DE RIEGO	25
6. SOLUCIÓN APORTADA	26
6.1 NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS CULTIVOS	26
6.2 MARCOS DE PLANTACIÓN	27
6.3 ALTERNATIVAS PROPUESTAS	30
6.3.1 ALTERNATIVA 1: BOMBEO MANUAL CON CANALIZACIÓN EXTERNA DEL AGUA HASTA EL DEPÓSITO SITUADO EN LA PARCELA	31
6.3.2 ALTERNATIVA 2: BOMBEO MANUAL CON DEPÓSITO AL LADO DEL POZO Y CANALIZACIÓN DEL AGUA POR UNA TUBERÍA SUBTERRÁNEA HASTA LA RED DE RIEGO	34
6.3.3 ALTERNATIVA 3: BOMBEO FOTOVOLTAICO CON DEPÓSITO DE ALMACENAJE AL LADO DEL POZO Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA A TRAVÉS DE UNA TUBERÍA SUBTERRÁNEA HASTA LA RED DE RIEGO	36

6.4	CONCLUSIÓN	40
7.	PRESUPUESTO	40
7.1	PRESUPUESTO ALTERNATIVA 1	41
7.2	PRESUPUESTO ALTERNATIVA 2	41
7.3	PRESUPUESTO ALTERNATIVA 3	42
7.4	SOBRECOSTE DE LOS NUEVOS MARCOS DE PLANTACIÓN	42
8.	BIBLIOGRAFÍA	43

ANEXO I. Contexto y situación actual en Etiopía

ANEXO II. Clima y geografía en Etiopía

ANEXO III. Suelos en Etiopía

ANEXO IV. Agricultura en Etiopía

ANEXO V. Necesidades hídricas

ANEXO VI. Cálculos

ANEXO VII. Marcos de plantación

ANEXO VIII. Planos

1. ANTECEDENTES

La relación entre Bahir Dar University (BDU) y la Universitat Jaume I (UJI) no es reciente, sino que ya desde el año 2008 la UJI está realizando trabajos de colaboración con la sociedad etíope, sobre todo en el campo científico, centrándose en los desastres naturales y llevando a cabo proyectos de desarrollo sostenible, con el objetivo de mejorar las condiciones de vida y necesidades básicas de los ciudadanos etíopes.

Una de las primeras colaboraciones entre ambas universidades fue la presentación de un estudio sobre el riesgo de desastres en la Región de Amhara, a finales de 2010. Dos años más tarde, Rosana Peris e Isabel Giménez, miembros del Instituto Interuniversitario de Desarrollo Local (IIDL) de la Universitat Jaume I realizaron una estancia en Etiopía en el marco de una nueva colaboración que contó con talleres de concienciación en las universidades de Bahir Dar y Debre Tabor (ÁFRICANOSMIRA, 2012).

Además, durante estos años la relación entre ambas entidades se ha visto reforzada gracias a la creación de otros proyectos de cooperación. Esta colaboración ha permitido que profesores de la UJI, como Victor Flors o Antonio Grandío hayan realizado pequeñas estancias en Etiopía con el objetivo de identificar posibles proyectos futuros y reforzar si cabe aún más los lazos entre ambas universidades. Por otro lado, el profesor Tesfahun Asmamaw Kasie de la BDU, está actualmente llevando a cabo su tesis en colaboración con la UJI, cuya presentación tendrá lugar en 2016. Todas estas colaboraciones generan un vínculo sólido beneficioso para ambas partes.

En efecto, un hecho más de las buenas relaciones entre Bahir Dar University y la Universitat Jaume I se ha dado en el pasado año 2015, en el que tres profesores de la UJI de campos diferentes, Luis Cabedo del departamento de Sistemas Industriales y Diseño, Leonor Hernández del departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, y Leonor Lapeña del departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural, con el apoyo de los profesores en Bahir Dar University, crearon un proyecto conjunto sobre bombeo fotovoltaico para riego por goteo para que fuese desarrollado por tres estudiantes de la UJI. Este proyecto lo propusieron bajo el programa Prácticas Solidarias en Países Empobrecidos, y en septiembre de 2015, Aritz Carrera, del Grado de Ingeniería Eléctrica, Laura Martínez del Grado de Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos e Inés Torán, la presente, del Grado de Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural, emprendimos un viaje de dos meses a Bahir Dar University para llevar a cabo el proyecto en campo.

Además, estas colaboraciones y proyectos entre la BDU y la UJI cuentan con apoyos institucionales como el de la AECID, la Oficina de Cooperación al Desarrollo y Solidaridad de la UJI, del Programa Mundial de Alimentos (PMA) y la Organización para la Agricultura (FAO).

2. CONTEXTO GENERAL

Etiopía, antiguamente conocida como Abisinia y oficialmente llamada República Federal Democrática de Etiopía (RFDE), es un país situado en el extremo este de lo que se conoce como el Cuerno de África. Con alrededor de 96.958.732 habitantes¹, muchos de ellos concentrados en su capital y ciudad más grande del país, Addis Abeba, Etiopía es el decimotercero país más poblado del mundo según el ranking de población por países (WORLD METERS, 2014).

Cuenta con una superficie de 1.127.127 km² y sus países limítrofes son por el norte Eritrea, por el noreste Yibuti, por el este Somalia, por el sur Kenia y Somalia y por el oeste Sudán y Sudán del Sur. Desde la independencia de Eritrea, en abril de 1993, carece de salida al mar, dependiendo de Yibuti para sus exportaciones marítimas (Figura 1).



Figura 1. Mapa de localización de Etiopía.

Fuente: MAEC (2015)

La geografía de Etiopía se caracteriza por la presencia de una extensa meseta, llamada Macizo Etíope, dividida por dos grandes cadenas montañosas, atravesadas por el Valle Rift. Etiopía es un país de muchos contrastes quedando reflejado también en su geografía, ya que al mismo tiempo que son comunes altitudes elevadas, entre las que destaca el pico más alto del país, el Ras Dshen, con 4.550 metros, también existen depresiones como la del Desierto de Danaquil, cuyo punto más bajo alcanza los 116 metros bajo el nivel del mar (COPÉPODO, 2013). El Lago Tana, al noroeste, es el más grande del país, del cual nace el Nilo Azul, afluente más caudaloso del río Nilo.

Etiopía es el único país en África que nunca ha sido colonizado, excepto durante un periodo de cinco años (1936-1941) cuando estuvo bajo la ocupación italiana. Actualmente, la forma de Estado de Etiopía es una República Federal que se rige por los principios de la

¹ Dato obtenido del Banco Mundial, 2014 (<http://databank.bancomundial.org/>)

constitución aprobada en 1994, en la cual se establece un sistema parlamentario bicameral (MAEC, 2015).

La moneda oficial del país es el Birr, cuya equivalencia con el euro es de 1€ aproximadamente 23,19 ETB² (a fecha de diciembre de 2015).

Por lo que respecta al idioma, existen más de 80 lenguas diferentes, fuente de la riqueza étnica que caracteriza al país, siendo el Amárico la lengua oficial.

La religión tiene gran peso por todo el país. Coexisten y conviven en armonía diversas creencias, siendo predominante la Iglesia Ortodoxa etíope y el Islam, seguidos de protestantes, la Iglesia católica y creencias tradicionales en un porcentaje muy minoritario, así como también la religión hebrea (ABAY, 2015a).

Etiopía tiene una organización administrativa dividida en nueve estados federados o regiones cuyos límites están determinados por las diferentes etnias presentes en el país (Figura 2). Cada una de estas regiones está dividida en diferentes zonas administrativas, que al mismo tiempo, se encuentran divididas en *woredas*, y estas a su vez las componen diversos *kebeles*, que se corresponde con las unidades administrativas más pequeñas (ver Anexo I).



Figura 2. Mapa de las Regiones y Zonas de Etiopía.

Fuente: ABAY ETIOPÍA (2015b)

Más del 80% de la población etíope vive en áreas rurales donde el acceso a recursos básicos como el agua o la electricidad son escasos. La pobreza continúa siendo persistente

² Las siglas ETB significan *Ethiopian Birr*

afectando a un 39% de la población³, el 30,65% de sus habitantes vive con menos de 1,25€ al día (PNUD, 2014) y el hambre junto, con la inseguridad alimentaria, provocan directa o indirectamente el 28% de la mortalidad infantil en el país⁴ (ver Anexo I).

El presente proyecto se plantea en la *woreda* Fogera, situada a orillas del Lago Tana y perteneciente a la Región de Amhara. En dicha región se distinguen dos áreas climáticas, la parte Este caracterizada por las sequías anuales, la crónica inseguridad alimentaria y hambrunas, y la parte Oeste, en la que se incluye la *woreda* Fogera, que por lo general posee suelos fértiles y lluvias adecuadas.

Fogera es una de las *woredas* más pobladas de la Región de Amhara, con una densidad de población de 246,8 habitantes por kilómetro cuadrado en 2008 (ADUGNA, 2014), siendo la mayoría población rural donde la falta de recursos y la difícil accesibilidad al agua y a la electricidad no permiten el desarrollo próspero de las comunidades (ver Anexo I).

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

3.1 OBJETIVOS GENERALES

Este proyecto se ha desarrollado bajo un programa de cooperación entre la Universitat Jaume I y Bahir Dar University, con el fin de establecer diferentes líneas de colaboración que contribuyan a la mejora de las condiciones de vida de las familias rurales.

En este contexto, el objetivo general del presente proyecto fue rediseñar y optimizar el sistema de riego actual que la BDU ha propuesto para un proyecto experimental puesto en marcha en *woreda* Fogera, con el fin de mejorar la eficiencia del sistema.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para cumplir este objetivo general se propusieron los siguientes objetivos específicos:

- Reducir el tiempo de riego
- Reducir el tiempo de trabajo
- Reducir el esfuerzo físico que supone el bombeo y llenado de los depósitos manualmente
- Cálculo de los marcos de plantación óptimos para cada cultivo
- Crear un diseño sencillo y económico cumpliendo los objetivos anteriores

³ Dato obtenido de la CIA World Factbook, 2012 (<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/et.html>)

⁴ Dato extraído del informe “*The Social and Economic Impact of Child Undernutrition in Ethiopia*” (http://www.unicef.org/ethiopia/FINAL_Ethiopia_-_COHA_Summary_Report_June_20_24pg_72dpi.pdf)

4. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto ha surgido de la estancia en prácticas bajo el programa “Prácticas Solidarias en Países Empobrecidos” en Bahir Dar University, Etiopía. Dicha universidad va a llevar a cabo un proyecto experimental de riego por goteo en una parcela situada en una escuela rural en la *woreda* Fogera.

Así pues, el presente proyecto pretende responder a uno de los principales problemas, en el ámbito de la agricultura que padece Etiopía, la escasez de pluviometrías en la época seca, que se extiende desde octubre a junio. Concretamente, en este trabajo se hace hincapié en el riego de tres de los cultivos llamados “cashcrop” (tomates, patatas y cebollas), que son aquellos cultivos mejor pagados a los agricultores, con lo cual incrementar el rendimiento de sus cosechas supondría aumentar sus beneficios y en consecuencia mejorar sus condiciones de vida (nutrición, vivienda, vestimenta, calzado, salud, etc.).

Tras implantar el sistema de riego por goteo, futuros trabajos de Bahir Dar University en esta área rural pretenden mostrar a los agricultores que el riego por goteo puede incrementar la producción de las cosechas, reducir el tiempo de trabajo y esfuerzo físico, al mismo tiempo que se les enseñará a utilizar esta técnica de riego, todo ello sin que pongan en riesgo sus cosechas y dinero.

Entre los proyectos recientes en los que está trabajando Bahir Dar University se encuentran instalaciones de bombeo fotovoltaico para suministro de agua potable en zonas rurales, permitiendo así el abastecimiento y distribución del agua en ciertas áreas donde los núcleos de población están muy dispersos.

Por otro lado, están impulsando la construcción y uso de biodigestores de combustión anaeróbica, cuyo objetivo es obtener metano a partir de la acumulación de excrementos de animales por un lado, y heces y orina humanas por otro, que al mezclarlo con agua genera gas metano, que lo canalizarán por unas tuberías para redirigirlo a las casas y así utilizarlo para cocinar. Ya tienen alrededor de 30 biodigestores construidos en las zonas rurales y la idea es incrementar el número. El uso de biodigestores facilita las tareas cotidianas, permite ahorrar tiempo, pudiéndolo emplear en otros quehaceres y además potencia la higiene ya que se establece un lugar determinado para las excretas.

El último proyecto de desarrollo sostenible que pretende mejorar las condiciones de vida de las familias rurales es el que puso en marcha Bahir Dar University en octubre de 2015. Se basa en el suministro de forma controlada de riego a goteo y riego por inundación en tres cultivos hortícolas diferentes para observar el método con el cual la producción es mayor. Además, este proyecto se plantea dentro de una escuela rural, con el objetivo de mostrar a los agricultores los beneficios tanto en producción como en el ahorro de tiempo del riego a goteo, sin que pongan en riesgo su dinero. Incrementar la producción supone mayores beneficios para las familias, con los que pueden comprar otros alimentos, ropa, mejorar sus viviendas o comprar más ganado que les proporciona leche y carne. Además, si el rendimiento del cultivo por superficie se incrementa, pueden destinar menor superficie de tierra a un cultivo y sembrar otros, de modo que se consiga mayor variedad de cultivos que permitan aportar nutrientes y

vitaminas diferentes en la alimentación diaria, y así fortalecer la salud. Por otro lado, reducir el tiempo de trabajo destinado al riego supone que los agricultores puedan emplear ese tiempo en otras actividades.

5. ÁREA DE ESTUDIO Y SITUACIÓN INICIAL

5.1 ÁREA DE ESTUDIO

El presente proyecto se localiza en la *woreda* Fogera, situada en la Zona Sur Gondar perteneciente a la Región de Amhara, Etiopía. En la Figura 3 se muestra un mapa en el que se identifica a Etiopía en el planeta, las regiones por las que está compuesta el país, haciendo hincapié sobre la Región de Amhara en la cual se remarca la *woreda* Fogera.

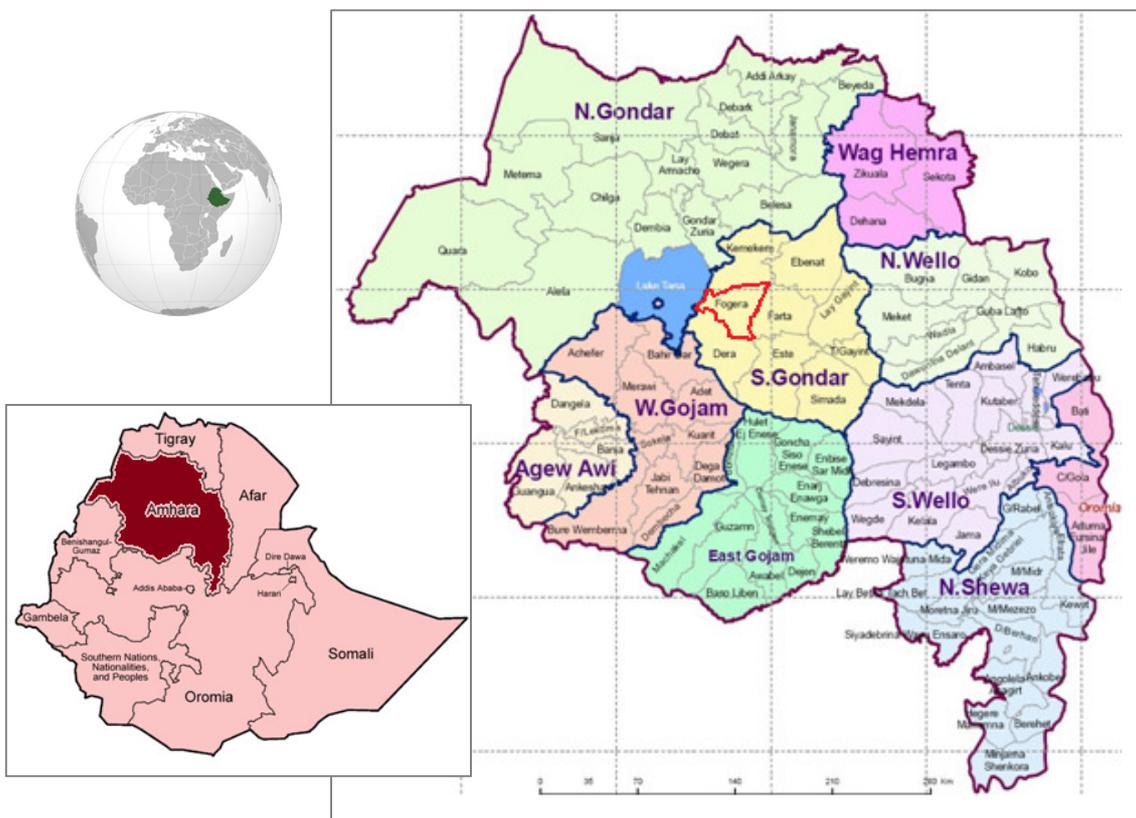


Figura 3. Mapa con las Regiones de Etiopía, destacada Amhara (izquierda). Mapa con las Zonas y *woredas* que conforman la Región de Amhara, destacada *woreda* Fogera (derecha).

Fuente: Wikipedia (2015) y IDP (2012)

Se trata de un proyecto planteado para una parcela de cultivo en el ámbito rural, situada en el recinto perteneciente a una escuela rural, cuyo núcleo urbano más cercano es la ciudad de Wereta a 6,2 kilómetros de distancia (Figura 4).



Figura 4. Localización de la parcela de estudio (marcada con un punto rojo): A) Respecto del Lago Tana. B) Respecto de Wereta. C) Respecto de la escuela rural.

Fuente: Google maps

5.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

Woreda Fogera se sitúa sobre una vasta llanura en pleno Macizo Etíope (ver Anexo II), cuyas altitudes medias rondan los 1.800 metros. Concretamente el emplazamiento de estudio se encuentra a una altitud aproximada de 1.824 metros.

Las temperaturas suaves caracterizan a esta *woreda*, con temperaturas medias anuales de entre 16 y 20 °C, y mínimas no inferiores a 8 °C en ninguna época del año.

Etiopía, por su situación cercana al ecuador se caracteriza por la presencia de dos estaciones bien diferenciadas, una estación de lluvias que abarca desde junio hasta finales de septiembre, durante la cual predominan las lluvias fuertes y torrenciales, seguida de una estación seca que se alarga desde octubre hasta mediados de mayo, siendo comunes las sequías.

Sin embargo, el rango de precipitaciones, aunque principalmente se concentran en la estación de lluvias, es muy cambiante en función de la zona del país. La *woreda* Fogera, localizada en el noroeste del país, se incluye en el área catalogada como zona de altas precipitaciones y por tanto zona productiva como se explica en el Anexo II, recibiendo una media anual de entre 1.001 a 1.500 mm. En la Figura 5 se muestra un gráfico con las temperaturas medias máximas y mínimas, así como las precipitaciones en la estación situada en la ciudad de Bahir Dar, ya que es la estación meteorológica más cercana al emplazamiento de estudio que ofrece la AEMET.

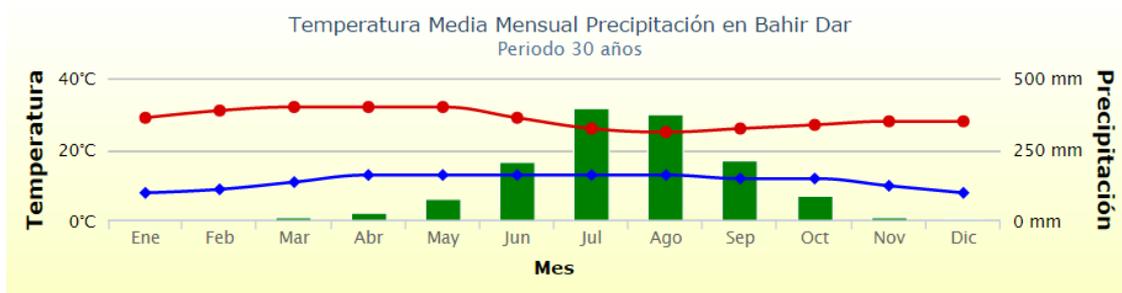


Figura 5. Temperatura media mensual y precipitación en Bahir Dar.

Fuente: AEMET (2016)

Por otro lado, cabe destacar una de las principales ventajas de las que dispone Etiopía, el gran potencial de radiación solar, con una irradiación media diaria anual de 6,5 kWh/m² registrada en 2014⁵, siendo la zona norte del país la de mejor potencial (ZEGEYE et al., 2014).

5.3 CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS

Actualmente, alrededor del 80% de la población etíope vive de la agricultura, hecho que lleva a pensar que los suelos deberían ser muy fértiles. Sin embargo, no es del todo así. La intensa degradación y erosión del suelo, debido a la acción de fuertes lluvias torrenciales y vientos junto con la falta de conocimiento en el uso de técnicas de cultivo modernas genera como consecuencia un agotamiento severo de los nutrientes presentes en la tierra, lo cual da lugar a bajas producciones y cosechas escasas.

Los suelos etíopes presentan deficiencias en nutrientes clave para el óptimo desarrollo de las plantas (N, P, K, S, Zn, B y Cu). El contenido en materia orgánica es escaso en gran parte de la superficie del país y la acidez de los suelos tiende a agravarse. Sin embargo, la falta de aplicación de fertilizantes, el inapropiado manejo del riego y la falta de una estrategia para el correcto manejo de la tierra agrícola impiden que las condiciones de los suelos mejoren.

Tras percatarse de la grave situación, el Gobierno etíope ha puesto en marcha una serie de medidas, nombradas en el Anexo III, que permitirán mejorar la fertilidad de los suelos, ya que si esta situación se mantiene la seguridad alimentaria empeorará gravemente en los próximos años.

Para realizar el presente trabajo, se necesitaba conocer qué tipo de suelo presenta la parcela para la que se plantea el proyecto. Dado que el acceso a un análisis completo de nutrientes en el suelo en Bahir Dar University era inviable y al tratarse de un proyecto de riego, se requería conocer principalmente la textura del suelo de la parcela, imprescindible para saber las necesidades de riego, ya que de ello depende la capacidad de retención de agua del suelo.

La BDU proporcionó los medios para realizar diferentes test con muestras tomadas de la misma parcela de estudio que permitieron conocer la textura y tamaño de partículas del suelo.

⁵ Datos aportados por el Doctor Tassew Tadiwos Zewdie (Assistant Professor of Power System & Energy Application in Bahir Dar University)

En el Anexo III se explica con detalle el procedimiento llevado a cabo, no obstante a continuación se muestran los resultados.

- **Textura del suelo de la parcela en woreda Fogera**

Tras realizar los análisis se obtuvieron los siguientes resultados:

% Arena = **30,94 % arena**

% Limo = **3,44 % limo**

% Arcilla = **65,33 % arcilla**

Se concluye que es un suelo principalmente **arcilloso (Figura 6)**.

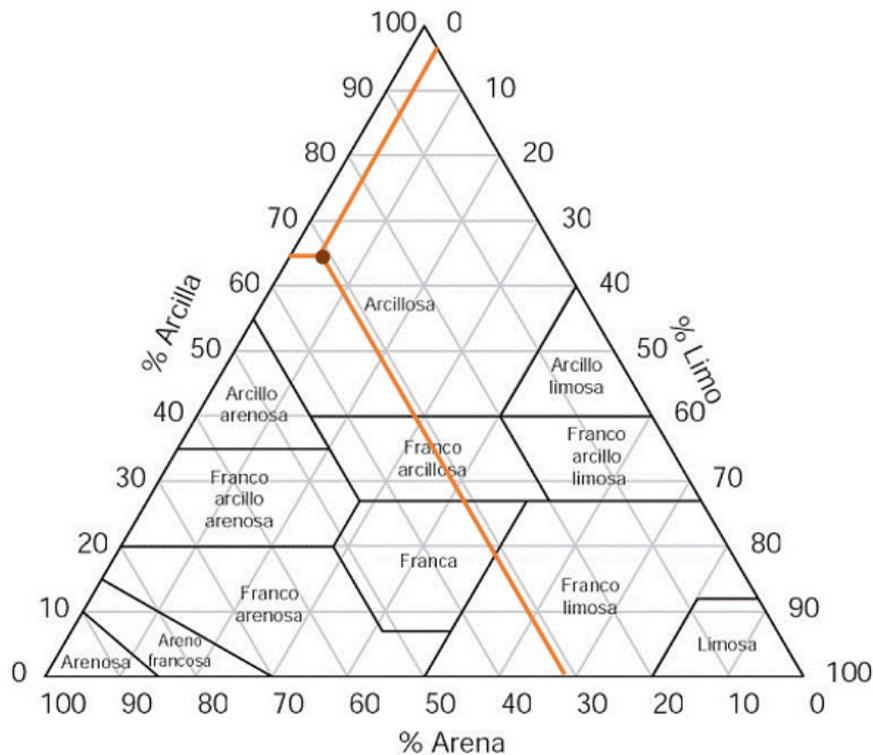


Figura 6. Triángulo textural mostrando los porcentajes de suelo de la muestra analizada.

- **Distribución del tamaño de partículas finas**

Este análisis granulométrico se realizó de una muestra de 50 gr de suelo que solo contenían partículas finas (<0,075 mm). La distribución del tamaño de partículas se hizo mediante un análisis hidrométrico, a partir del cual se obtuvo que más del 60% de la muestra tenía un tamaño de partículas de 0,00128 mm, por tanto se calificaba como arcilloso (arcilla < 0,002 mm) (Figura 7).

Distribución de tamaño para partículas finas

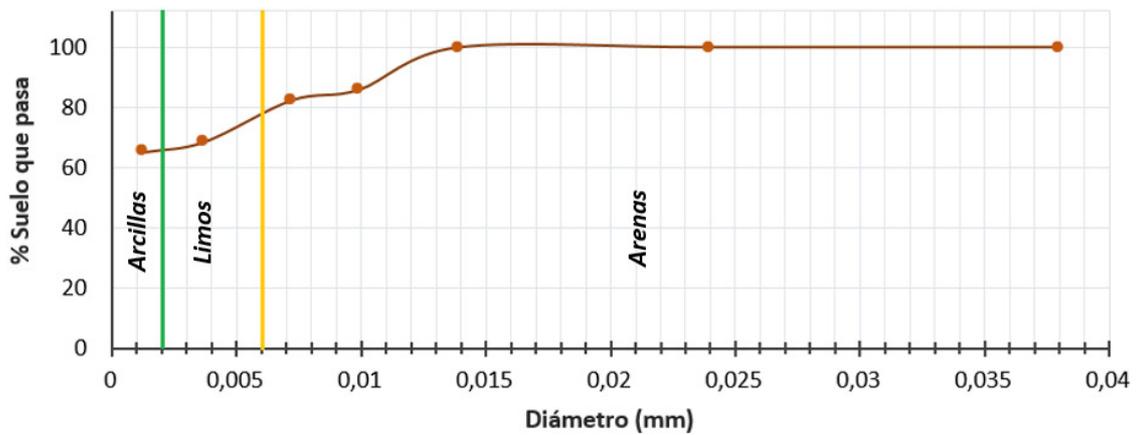


Figura 7. Gráfico de distribución de tamaño para partículas finas.

- **Distribución de tamaño de partículas gruesas**

Para llevar a cabo este análisis únicamente se tomaron las partículas gruesas de la muestra, es decir aquellas mayores a 0,075 mm, previamente separadas. Tras pasar la muestra por tamices de diferentes tamaños se obtuvo la siguiente distribución, en la que predominaban partículas de entre 0,3 y 0,15 mm (Figura 8):

Distribución de tamaño para partículas gruesas

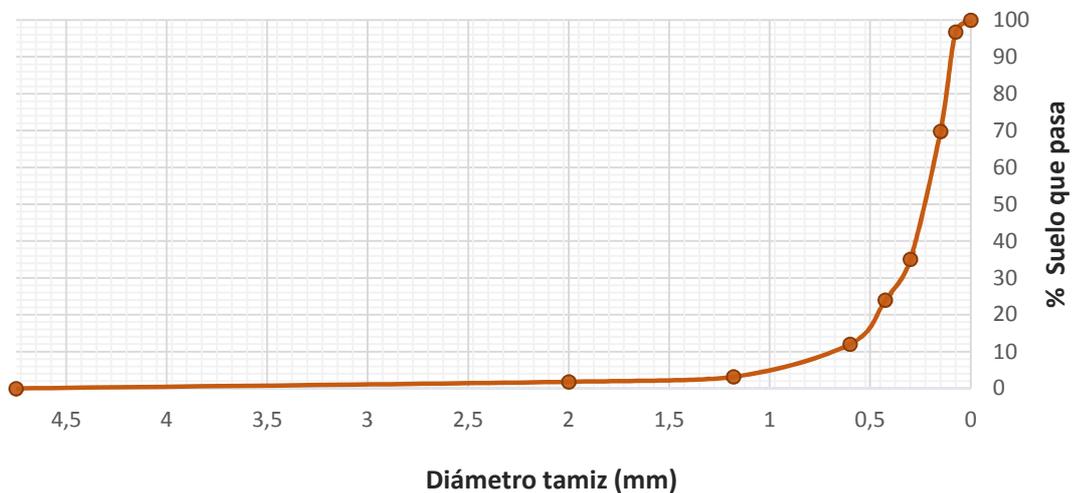


Figura 8. Gráfico de distribución de tamaño para partículas gruesas.

Cabe decir, que el tamaño de partículas predominante en el suelo es pequeño e inferiores a 0,002 mm, ya que predomina la arcilla. No obstante, se ha creído conveniente realizar una distribución gráfica también de las partículas gruesas que permitiese conocer más sobre las partículas del suelo.

Los suelos arcillosos se caracterizan por ser muy impermeables puesto que no permiten el paso del agua y del aire, dando lugar a estancamientos de agua. Las partículas muy pequeñas retienen el agua muy fuertemente y la hacen de difícil acceso para las plantas. En este tipo de suelos es importante llevar a cabo sistemas de drenaje adecuados para permitir que el agua se infiltre y evitar la formación de suelos de labor. Tras secarse, los suelos arcillosos quedan muy compactos y duros con la aparición de grietas que los caracterizan (BOTANICAL-ONLINE, 2016).

5.4 AGRICULTURA

5.4.1 SITUACIÓN DE LA AGRICULTURA EN ETIOPÍA

La agricultura familiar (pequeños agricultores), es el sector más importante de la economía etíope. Etiopía apuesta por el crecimiento económico basado en la agricultura, hecho que se demuestra conociendo que el sector agrícola representa el 45% del PIB, casi el 90% de las exportaciones y genera el 85% de empleo (MoFED y MoARD, 2010).

La agricultura en Etiopía es principalmente de subsistencia y depende totalmente de la lluvia. Por ello, la mayoría de los cultivos que crecen en el país son alimentos consumidos en la dieta etíope. Un ejemplo de ello es el Teff, principal cultivo del país con diferencia y originario del mismo.

Los cultivos en Etiopía podrían dividirse en ocho grupos: cereales, legumbres, semillas oleaginosas, hortalizas, cultivos bulbosos/tubérculos, cultivo de frutales, cultivos estimulantes y caña de azúcar.

Los cereales, las legumbres y las semillas oleaginosas constituyen el mayor grupo de cultivos plantado en el país, además de que también contribuye de forma importante en los beneficios económicos de Etiopía. El Teff es el cereal más cultivado en todo el país, siendo la Región de Amhara la principal productora con más de 1 millón de hectáreas.

Sin embargo, el principal problema de la agricultura en Etiopía es el bajo rendimiento de los cultivos, que afecta gravemente a los cultivos de grano, ya que sus producciones por hectárea son muy bajas. Esta es una de las razones por las que los cultivos de grano no generan realmente grandes beneficios económicos para los agricultores a nivel individual.

Los cultivos llamados “cashcrop”, se designan con este vocablo procedente del inglés porque su productividad por hectárea es mucho mayor que los cultivos de grano, y por tanto generan mayores ganancias para los agricultores. Dentro de este grupo se incluyen las hortalizas, las frutas, el café y el Chat, cultivado por sus hojas y que es conocida como la droga etíope.

5.4.2 SITUACIÓN DE LA AGRICULTURA EN LA REGIÓN DE AMHARA

Además del Teff, la Región de Amhara también destaca por el cultivo de maíz, sésamo y garbanzo siendo la *woreda* Fogera una de las mayores productoras de este último (WARNER et al., 2015). Por otro lado, en esta región se cultivan cerca del 40% de las hortalizas que se

producen en Etiopía de entre las cuales la patata, el tomate y la cebolla (cultivos sobre los que se trabaja en este proyecto) tienen una importancia clave.

- **Patata**

Es el tubérculo más cultivado en la Región de Amhara, con un total de 23.084,63 hectáreas, y una producción media en esta región de 15,29 t/ha (superior a la media nacional, 11,7 t/ha) según el sondeo realizado por la Agencia Central de Estadística de Etiopía en 2013/2014.

Sin embargo, como se explica en el Anexo IV, la producción sigue siendo inferior a la de muchos países africanos, atribuido principalmente a las obsoletas técnicas de cultivo que se continúan empleando y que contribuyen a empeorar, si cabe aún más, las condiciones del suelo, además de la falta de apoyo por parte del Gobierno central para mitigar esta situación.

La patata, a diferencia del tomate y la cebolla, además del ciclo de cultivo de noviembre a marzo también suele tener un segundo ciclo de junio a septiembre, en estación de lluvias, porque no es tan susceptible a enfermedades como la cebolla o el tomate.

No obstante, a pesar de que los agricultores cultiven patata porque es un “cashcrop” y les genera mayores beneficios económicos, el precio pagado al agricultor por kilo de patata es de 2 ETB⁶ que equivale a 0,09 €.

- **Cebolla**

El 40% del cultivo nacional de cebolla se produce en la Región de Amhara, siendo su rendimiento de 11,6 t/ha, dos puntos superior al de la media nacional.

Se suele realizar únicamente un ciclo de cultivo al año que comienza a partir de octubre y finaliza en febrero, evitando su siembra en época de lluvias debido a la susceptibilidad de la planta a enfermedades, sobre todo la Mancha púrpura causada por *Alternaria porri*.

Al igual que ocurre con la patata, la cebolla se siembra aparte de por ser un alimento indispensable en la dieta etíope, por ser “cashcrop”. Sin embargo, el precio por kilo de cebolla pagado al agricultor es de entre 4 y 6 ETB, lo que equivale entre 0,17 y 0,26 euros.

- **Tomate**

El tomate es el cuarto vegetal en importancia en la Región de Amhara, destinándose 682,63 hectáreas a su cultivo, aunque únicamente supone el 9,4% de la producción a nivel nacional.

La agencia de Estadística Central de Etiopía consideró no especificar los datos de producción de tomate en la Región de Amhara debido al elevado valor del coeficiente de variación, y como consecuencia su falta de fiabilidad, no obstante, sí que los ha considerado en la estimación de la producción nacional. Tomando como base el promedio nacional, la

⁶ El Birr es la moneda oficial de Etiopía (1 € ≈ 23,19 ETB en diciembre de 2015) y se representa con las siglas ETB (Ethiopian Birr)

producción de tomates en Etiopía es de 5,4 t/ha, y aunque generalmente el rendimiento de este cultivo en muchos países africanos es bajo, existen otros países como Egipto con rendimientos registrados en 2013 de 40,07 t/ha (FAOSTAT, 2013). El principal problema al que se deben estas enormes diferencias es el uso de variedades antiguas y técnicas de cultivo inapropiadas que favorecen la propagación de enfermedades.

Normalmente se suele realizar un ciclo de cultivo anual que por lo general comienza a partir de noviembre, cuando las temperaturas nocturnas ascienden. En época de lluvias no se cultiva tomate porque se ve fuertemente incrementado el ataque de enfermedades debido a la técnica de cultivo empleada, tomate en suelo. Una sencilla y fácil solución a este problema para poder producir tomates en época de lluvias sería emplear la técnica de tomate entutorado, la cual disminuiría el ataque de enfermedades bacterianas y fúngicas y aumentaría la seguridad alimentaria.

A pesar de que el tomate también sea considerado “cashcrop”, el precio medio por kilo pagado al agricultor, aunque varía en función de la estación del año, suele ser entre 5 y 6 ETB, lo que supone entre 0,22 y 0,26 euros.

5.4.3 IMPORTANCIA DE LOS CULTIVOS “CASHCROP” Y RIEGO POR GOTEJO PARA LOS AGRICULTORES

El presente proyecto se centra en el uso de riego a goteo para los cultivos de tomate, patata y cebolla. Aprovechando la estancia en el país, se confeccionó un pequeño cuestionario que permitiese analizar la importancia de los cultivos “cashcrop” (en especial los tres que se trabajan en el proyecto), el riego a goteo y los beneficios tanto sociales como económicos que suponen para las familias rurales. El cuestionario fue realizado en inglés y el supervisor de las prácticas actuó de traductor al Amárico (idioma oficial del país) (Figura 9).

Según sus respuestas, parece ser que necesitan sembrar dos cosechas de “cashcrop” anuales, siempre rotando cultivos y con esperanza de que la estación de lluvias no se retrase, para poder obtener mínimos beneficios económicos y poder alimentar a sus familias durante todo el año.

Por lo general, una familia común de agricultores suele plantar un cuarto de hectárea con un cultivo “cashcrop” y otra pequeña superficie con algún cereal, legumbre, etc. que asegure alimento para la familia.

El beneficio neto anual económico que obtienen por el cultivo de dos cosechas de “cashcrop” es alrededor de 16.000 ETB, un equivalente a 689,88 €. Así pues, con alrededor de 689€ junto con los pequeños ingresos procedentes de los otros cultivos deben alimentar a una familia de cinco, seis, siete o más miembros durante todo un año y en caso de que tengan excedente, entonces lo utilizan para el resto de prioridades. Con estos ingresos, resulta obvio que es imposible que la calidad de vida de las familias rurales mejore.

Además, también se les preguntó por la técnica del riego a goteo. Unánimemente, los encuestados coincidieron en que el uso de esta técnica podría aumentar los rendimientos de los cultivos y reducir el tiempo de trabajo, que tan costoso y pesado les resultaba. Por otro lado, al

reducir el tiempo de riego podrían emplearlo en otras actividades, entre las que destacaron realizar tareas de mantenimiento de los cultivos o cuidar al ganado.

Desafortunadamente, los agricultores no son capaces de costear la implantación de dicho sistema de riego y una buena alternativa para ellos sería que el Gobierno difundiera el uso de riego por goteo mediante la aportación de ayudas económicas.

Tanto el modelo del cuestionario como todos los detalles de las conclusiones extraídas se explican en el Anexo IV.



Figura 9. En *woreda* Fogera realizando cuestionarios a los agricultores

Fuente: Propia

5.5 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO ACTUAL

5.5.1 DESCRIPCIÓN

El propósito de Bahir Dar University es realizar un proyecto a pequeña escala (en una parcela de 200 m²), que sirva como precedente para los agricultores. Se pretende suministrar agua mediante riego por goteo a tres tipos de cultivos (tomate, patata y cebolla) durante la estación seca, comenzando a principios de octubre, con el objetivo de observar si el rendimiento de los cultivos aumenta cuando se le aplican los requerimientos hídricos necesarios a las plantas. Sin embargo, se trata de un proyecto piloto, en proceso de implantación y todavía quedan aspectos sin definir. Entre algunos de los aspectos sin definir destacan:

- Los requerimientos de riego para cada cultivo.
- Los marcos de plantación adecuados a cada cultivo.
- Plantar un único cultivo en la parcela de 200 m², para evitar interferencias entre especies, pero no se ha elegido cual. Los que no se planten en dicha parcela se plantarán en otras de dimensiones parecidas por la misma zona o no muy lejanas y también se les aplicará riego por goteo.

De la necesidad por responder a los puntos mencionados surgió la idea de este proyecto, en el que no solo se trabajan estos aspectos sino que, tras conocer de primera mano el funcionamiento y diseño del sistema de riego que la BDU ha implantado, se pensó que además, se podrían proponer nuevas alternativas que redujeran el tiempo y esfuerzo dedicado a tal tarea.

5.5.2 CARACTERÍSTICAS

En este apartado se van a definir los elementos, dimensiones y marcos de plantación del sistema de riego implantado por Bahir Dar University.

En primer lugar, como ya se ha mencionado en el apartado anterior, las dimensiones de la parcela son de 200 m², distribuidas como se muestran en la Figura 10, 20 metros de longitud los laterales y 9,5 metros de longitud la tubería terciaria. La parcela se sitúa sobre un terreno plano no existiendo pendiente alguna que pueda afectar en el diseño del sistema y la distribución del agua.

Respecto a los marcos de plantación diseñados actualmente, varía según el cultivo. No obstante, todavía no han profundizado suficiente en este punto y únicamente tienen claro el marco de plantación que van a utilizar para el cultivo de patata: 30 cm de separación entre emisores y 50 cm entre laterales. Para el cultivo de tomate, la separación a utilizar entre laterales será de 1 metro, sin embargo, no tienen claro qué separación poner entre emisores. En el caso del cultivo de cebolla todavía no conocen el marco de plantación adecuado.

El sistema de riego por goteo implantado actualmente es un sistema básico “low cost” inspirado en el esquema que muestra la Figura 10. Los componentes que forman el sistema de irrigación son:

- Depósito de 200 L
- Altura del depósito respecto del suelo: 1 metro
- Válvula de control, para permitir o no el paso del agua de forma manual
- Filtro
- Tubería principal de diámetro exterior 32 mm
- Tubería terciaria de diámetro exterior 32 mm
- Laterales de diámetro exterior 16 mm
- Emisores integrados en los laterales de caudal 2,8 l/h

Un esquema semejante al sistema que se ha implantado es el que aparece en la Figura 10.

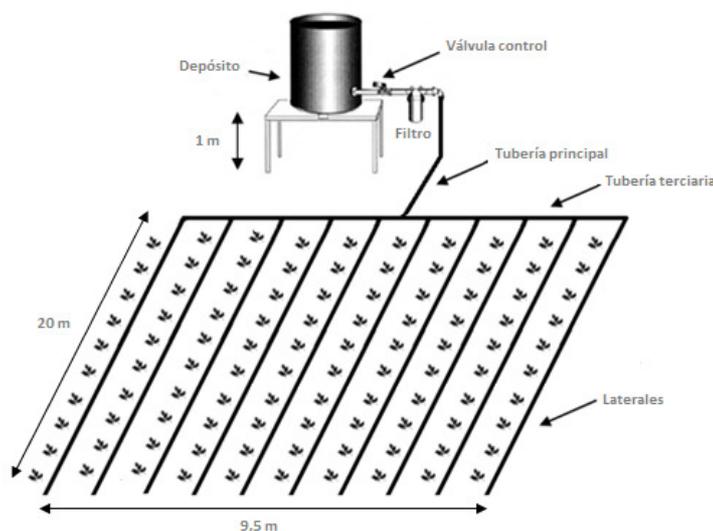


Figura 10. Esquema del sistema de riego a goteo actual.

Fuente: Propia

El agua utilizada para el riego procede de un pozo situado a 50 metros (ver apartado 5.5.3). Esta agua es extraída mediante bombeo manual por los niños de la escuela durante los recreos, y después es transportada con cubos manualmente hasta un depósito de 200 L localizado al lado de la parcela. Cabe mencionar que el desnivel existente entre el pozo y la parcela es de 8 metros (Figura 11).



Figura 11. Distancia y desnivel desde el pozo a la parcela de estudio.

Fuente: Google Earth (2016)

Por lo que respecta a los requerimientos hídricos adaptados a cada cultivo, todavía no se habían calculado, y puesto que es un dato imprescindible para el correcto desarrollo de los cultivos, dicha tarea se aborda en el presente proyecto.

Con el objetivo de dejar claras las características de la situación de partida, en la Tabla 1 se muestra un resumen de todas ellas.

SÍNTESIS CARACTERÍSTICAS SISTEMA DE RIEGO ACTUAL

Dimensión parcela

20 metros de longitud laterales
9,5 metros de longitud tubería terciaria

Pendiente

No existe

Marcos de plantación

Patata: 0,30 x 0,50 m
Tomate: __ x 1 m
Cebolla: __ x __ m

Depósito

Tamaño: 200 L
Altura respecto del suelo: 1 m

Altura del depósito: 0,9 m
Procedencia agua
Pozo situado a 50 metros
Transporte manual hasta depósito de la parcela
Desnivel pozo-parcela: 8 metros
Necesidades de riego
No se conocen
Componentes
Válvula de control
Filtro
Tuberías → Principal \varnothing_{ext} 32 mm
→ Terciaria \varnothing_{ext} 32 mm
→ Laterales \varnothing_{ext} 16 mm
Emisores integrados de 2,8 l/h

Tabla 1. Resumen de las características del sistema de riego actual

A continuación se presenta una imagen (Figura 12) de la parcela para la que se plantea el proyecto, con el objetivo de tener una idea más clara del lugar.



Figura 12. Parcela de estudio en woreda Foguera
Fuente: Propia

Seguidamente, en la Figura 13, se muestran algunos de los componentes del sistema de riego que la BDU va a utilizar para la instalación. El resto de componentes todavía no los habían recibido en el tiempo de nuestra estancia y no se tienen fotografías.



Figura 13. A) Distribución de los laterales en la parcela. B) Emisor integrado en el lateral. C) Depósito de 200 L.
Fuente: Propia

En la Figura 14 se muestra un esquema gráfico de la distribución del sistema de riego actual, con el objetivo de tener una idea clara de la situación.

Además, en el plano 1 del Anexo VIII, se presenta la distribución y componentes a escala.

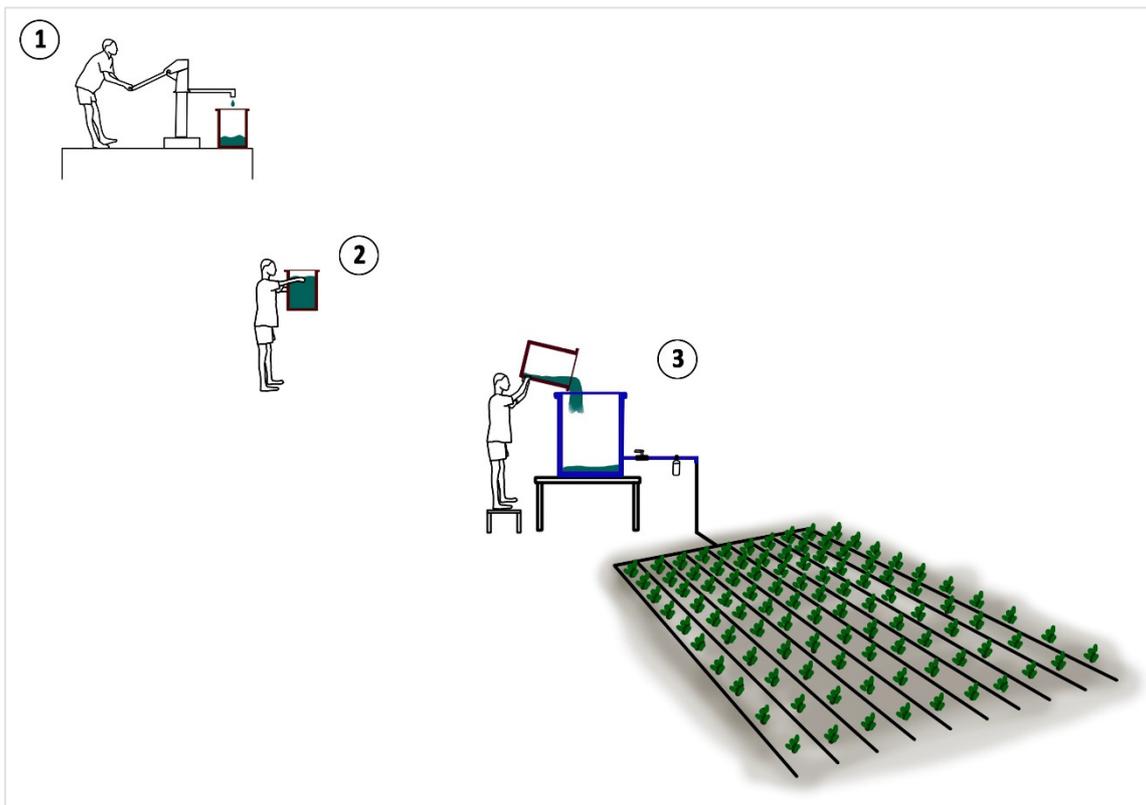


Figura 14. Esquema gráfico del sistema de riego actual. 1) Bombeo manual. 2) Transporte manual. 3) Llenado del depósito manual.

Fuente: Laura Martínez Mifsut

5.5.3 ACCESIBILIDAD Y PROCEDENCIA DEL AGUA

La procedencia del agua de riego es, como se ha dicho, de un pozo situado a 50 metros de la parcela de cultivo (Figura 15). El pozo se encuentra dentro del recinto de la escuela rural y anteriormente era la fuente de agua potable para las comunidades rurales de los alrededores. Sin embargo, actualmente se han construido otros pozos y éste únicamente se utiliza para riego y agua potable para los niños de la escuela.

El pozo tiene una profundidad de 12 metros y el nivel del agua asciende hasta los 5 ó 6 metros en función de la época del año, con lo cual es posible encontrar agua a 6 ó 7 metros desde la superficie.

El nivel del agua varía en función de la época del año, pero no han comprobado cuánto exactamente. No se conoce cuál es el caudal disponible del pozo, puesto que no se ha calculado, no obstante se me aseguró que es suficiente para el riego de la parcela.



Figura 15. Pozo del cual procede el agua de riego
Fuente: Propia

El bombeo manual del pozo lo van a llevar a cabo los niños de la escuela en las horas de recreo (Figura 16). Por cada bombeo se extrae 0,5 litros de agua. Puesto que los sábados y domingos la escuela está cerrada y no se bombea agua, la autonomía de los depósitos debe de ser de dos días.



Figura 16. Niños de la escuela bombeando el agua del pozo.
Fuente: Propia

El agua proviene de recursos hídricos subterráneos, posiblemente derivados de los dos ríos por los que está rodeada la zona, quedando el Río Ribb por el lado izquierdo y el Río Giunea por la parte derecha.

5.5.4 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO ACTUAL

Una vez explicadas las características de la instalación actual, el siguiente paso es ratificar si el diseño de riego actual es eficiente técnicamente. Esta eficiencia dependerá de la capacidad del sistema de aportar correctamente el riego a los cultivos.

Para ello, se deberá conocer las presiones y en consecuencia los caudales, que llegan a la instalación con la cota disponible, es decir, 1,9 m en el mejor de los casos. Así pues, esto es lo que se ha calculado en el apartado 1 del Anexo VI.

Dado que la presión con la que el agua llega a la red no es la misma si el depósito se encuentra lleno o casi vacío y por tanto tampoco lo es el caudal, se realizó un promedio calculando estos datos cuando el depósito se encontraba con su máxima y mínima capacidad. Esto significa que se calcularon las presiones y caudales cuando la diferencia de cota era de 1,9 m y cuando era de 1 m. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- **Caudal medio con el depósito lleno ($H_0 = 1,9$ m)**

$$q_{\text{medio}}(H_0=1,9) = 1,14 \text{ l/h}$$

- **Caudal medio con el depósito vacío ($H_0 = 1$ m)**

$$q_{\text{medio}}(H_0=1) = 0,75 \text{ l/h}$$

Dado que lo que se pretende es conseguir un valor orientativo, no siendo un dato que vaya a influir sobre otros, se han simplificado los cálculos relativos al caudal medio real en la red de riego, obteniéndolos a partir del promedio entre el caudal medio con el depósito lleno y vacío. De este modo el caudal medio orientativo de los emisores en la red será:

$$q_{\text{medio red}} = 0,94 \text{ l/h}$$

Este caudal difiere mucho del que debería salir por los emisores que es de 2,8 l/h, concluyendo así que el sistema de riego actual no es eficiente. La principal causa que genera esta situación es la escasa diferencia de cota existente entre el depósito y la red de riego, ya que aumentándola, se dotaría de más energía al agua, en consecuencia ésta circularía a mayor presión y por tanto el caudal saliente por los emisores sería mayor.

Mejorar este punto del sistema es uno de los objetivos del presente trabajo, cuyas propuestas se muestran en los siguientes apartados.

5.5.5 TIEMPO DE RIEGO

Siendo, reducir el tiempo destinado a la tarea del riego, uno de los objetivos del presente proyecto, será primordial conocer las horas destinadas a dicha actividad con el diseño planteado en la actualidad.

Dicho cálculo se ha estimado para el cultivo de patata puesto que es el único en el que la BDU ha establecido un marco de plantación (dato necesario para su cálculo). Además, el tiempo de riego se ha estimado para los días de mayor demanda de dicho cultivo, obteniendo así las horas máximas destinadas a esta actividad durante los días críticos. Así pues, en el apartado 1 del Anexo VI se muestra el procedimiento de cálculo seguido, cuyo resultado ha sido:

$$t_{total} = 10 \text{ h } 10 \text{ min } 8 \text{ s}$$

En efecto, el tiempo que deben dedicar los agricultores al riego en las condiciones actuales les impide realizar cualquier otra actividad durante el resto del día y evidentemente no se lo pueden permitir.

Disminuir el número de horas destinadas al riego es otro de los objetivos de este proyecto. En los siguientes apartados se expone cómo es posible con las alternativas propuestas.

6. SOLUCIÓN APORTADA

6.1 NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS CULTIVOS

Para dimensionar un sistema de riego, el primer paso es calcular las necesidades hídricas de los cultivos, es decir, la cantidad de agua que hay que aportar diariamente a las plantas para mantenerlas en plena producción.

Dado que Bahir Dar University no había realizado el cálculo de los requerimientos de riego para cada cultivo, y puesto que es un factor primordial para el correcto desarrollo de los mismos, este ha sido un punto a abordar en el presente trabajo.

Aunque existen diferentes posibilidades para su cálculo, en esta ocasión se ha seleccionado el programa CROPWAT desarrollado por la FAO y de uso libre, para evaluar las necesidades hídricas. Este programa permite obtener los requerimientos hídricos en función del tipo de suelo, tipo de plantas, fecha de siembra y datos climáticos y pluviométricos de la zona gracias a la base de datos CLIMWAT también desarrollado por la FAO, en la que se encuentra datos reales de temperaturas máximas y mínimas, evapotranspiraciones y precipitaciones de multitud de países y diferentes estaciones dentro de cada uno, que permiten obtener datos más precisos y reales.

Para este proyecto se han seleccionado datos de CLIMWAT correspondientes al país de Etiopía, concretamente de la estación llamada Addis Zemen, puesto que es la más cercana a la zona de estudio (ver Anexo V).

Los requerimientos hídricos se han calculado independientemente para cada cultivo (tomate, patata y cebolla), tomando como fecha de siembra el 1 de octubre, ya que es cuando comienza la época seca (ver Figura 2 del Anexo V) y es la fecha que BDU propuso. Después se plantean las necesidades de riego totales para una parcela de 200 m² que son las dimensiones que tiene la parcela de estudio.

A continuación, en la Tabla 2 se presenta un resumen con los datos de requerimientos hídricos de cada cultivo. No obstante, puesto que CROPWAT los calcula en función de la etapa

de crecimiento de las plantas y de los factores climáticos en cada época, estas necesidades varían a lo largo de la vida del cultivo. En la Tabla 2 solo se presentan las necesidades de riego durante el periodo de máxima demanda de los cultivos, ya que es el factor crítico para el diseño del depósito en las alternativas que se proponen en los siguientes apartados. Para ver la variación de las necesidades de riego a lo largo del ciclo de la planta ir al apartado 2.2 del Anexo V.

CULTIVO	PERIODO DE MÁXIMA DEMANDA	NR_n (mm/día)	NR_n parcela de 200 m² (mm/día)	NR_t parcela de 200 m² (mm/día)
TOMATE	Del 20 al 30 de enero	5,4	1.088,0	1.272,5
PATATA	Del 20 al 30 de diciembre	5,0	1.004,0	1.174,3
CEBOLLA	Del 20 al 30 de diciembre	4,4	872,0	1.019,9

Tabla 2. Necesidades hídricas de los cultivos de tomate, patata y cebolla.

NR_n: Necesidades de Riego Netas

NR_t: Necesidades de Riego Totales

Como se observa, el cultivo más exigente es el tomate requiriendo 5,44 mm de agua al día durante el periodo de máxima demanda. Esta es la razón por la cual el depósito que se propone en las alternativas diseñadas, que se explican en los apartados siguientes, debe tener capacidad para albergar por lo menos este volumen de agua, de tal forma que pueda ser aprovechado para todos los cultivos.

6.2 MARCOS DE PLANTACIÓN

Como se ha dicho anteriormente la BDU sólo tiene establecido el marco de plantación para el cultivo de patata. Por esta razón, debido a la necesidad por diseñar unos macos de plantación que se adecúen a cada uno de los tres cultivos, esta es una de las tareas a tratar en el presente trabajo.

Bahir Dar University compró el material para llevar a cabo su proyecto sin antes definir los marcos de plantación. Como consecuencia de ello, se compraron grandes cantidades de laterales con emisores integrados a una única distancia (0,3 m).

Frente a esta situación se plantean dos casos:

- 1) Reutilizar el material actual y adaptarlo a marcos de plantación admisibles.
- 2) Proponer otras separaciones entre emisores, lo cual supondría la compra de material nuevo e incrementaría el coste de la instalación.

Puesto que lo que se quiere conseguir es crear un diseño eficiente al menor coste posible, se ha propuesto una configuración de marco de plantación adaptado al material existente. Sin embargo, no acaba de cumplir con uno de los objetivos del trabajo, la optimización

del agua. Por esta razón, además se plantea también la configuración más adecuada para el caso de compra del material nuevo.

Marcos de plantación utilizando el material existente

Un marco de plantación adecuado es aquel en el que la separación entre plantas y entre filas de plantas permita el correcto desarrollo de las mismas, sin que compitan unas con otras por los nutrientes o el agua presentes en el suelo. Además, en caso de que el riego aportado sea por goteo, como es el caso actual, los marcos de riego deberán ser de tal forma que el solape entre los bulbos húmedos producido por cada emisor (área de superficie regada por cada emisor), junto con la separación entre laterales no supere el 90-95 % de suelo mojado en cultivos hortícolas, ya que excesiva agua podría causar daños en el sistema radicular de las plantas. Por tanto, se deberá encontrar el equilibrio adecuado entre separación de emisores y separación entre laterales.

Al utilizar el material comprado por la BDU, se cuenta con la limitación de que la separación entre los emisores tiene que ser de 0,3 m, pudiendo cambiar únicamente la separación entre laterales.

Este hecho genera que se produzcan porcentajes de solapes entre bulbos muy elevados (ver apartado 1 del Anexo VII) y consecuentemente aumente el porcentaje de suelo mojado mucho, lo cual puede acarrear asfixia o podredumbre en las raíces.

No obstante, variando la separación entre laterales se han obtenido configuraciones de marcos de riego admisibles. En las Figuras 17, 18 y 19 se presentan los resultados obtenidos, no obstante para ver el procedimiento llevado a cabo ir al apartado 1 del Anexo VII. Cabe decir que para patata y tomate se plantan filas de plantas individuales, mientras que para cebolla se plantan dos filas de plantas juntas formado una isleta.

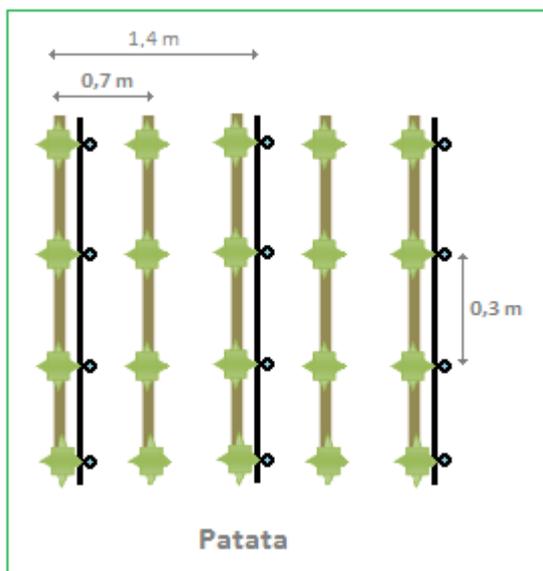


Figura 17. Marco de plantación y riego de patata
Fuente: Propia

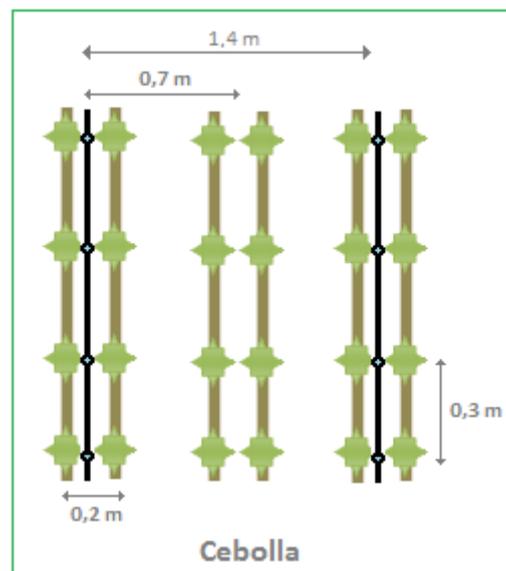


Figura 18. Marco de plantación y riego de cebolla
Fuente: Propia

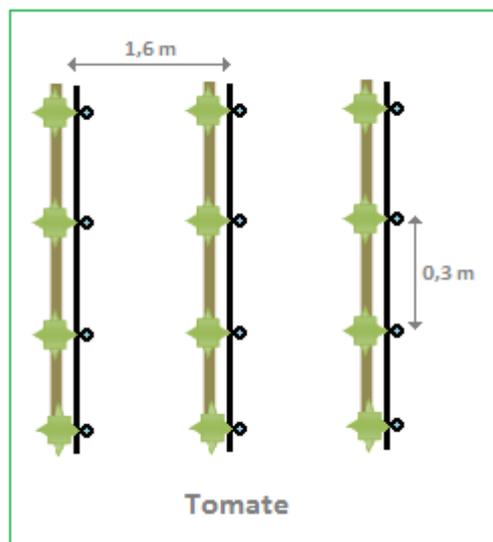


Figura 19. Marco de plantación y riego de tomate

Fuente: Propia

Con los marcos de plantación expuestos se consigue un porcentaje de suelo mojado (P) para patata y cebolla de 106 % y para tomate de un 93,2 %. No son porcentajes excesivamente elevados, pero no se optimiza el agua totalmente. Sin embargo, el agua no es un factor limitante en cuanto a disponibilidad, con lo cual en ese aspecto no se tendrían problemas por utilizar estos marcos de riego reutilizando el material actual, pero sí que puede serlo en cuanto a la salud del cultivo. Por este último motivo se han propuesto marcos de riego alternativos comprando material adecuado.

Marcos de plantación utilizando material nuevo

Puesto que la optimización del agua es un aspecto importante en este trabajo, seguidamente se plantean diversas configuraciones de marcos de plantación y riego adecuadas a cada uno de los cultivos abordados.

Las alternativas que se muestran no significan que sean mejores ni peores a las anteriormente citadas, simplemente son otras opciones. Después, Bahir Dar University deberá estimar la rentabilidad del sobrecoste que supone la compra de nuevo material frente a la menor optimización del agua.

Así pues, en las Figuras 20, 21 y 22 se representan los marcos de plantación y riego propuestos en caso de que se comprase material nuevo. Para ver el procedimiento de cálculo seguido ir al apartado 2 del Anexo VII.

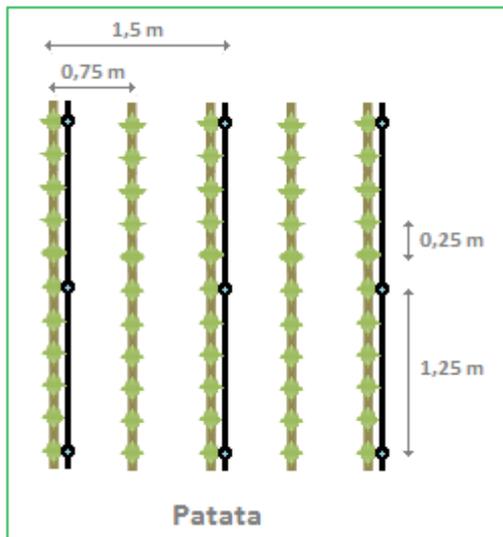


Figura 20. Marco de plantación y riego de patata
Fuente: Propia

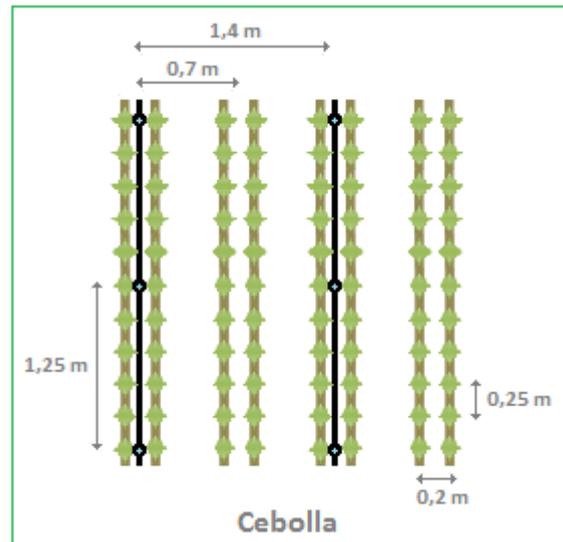


Figura 21. Marco de plantación y riego de cebolla
Fuente: Propia

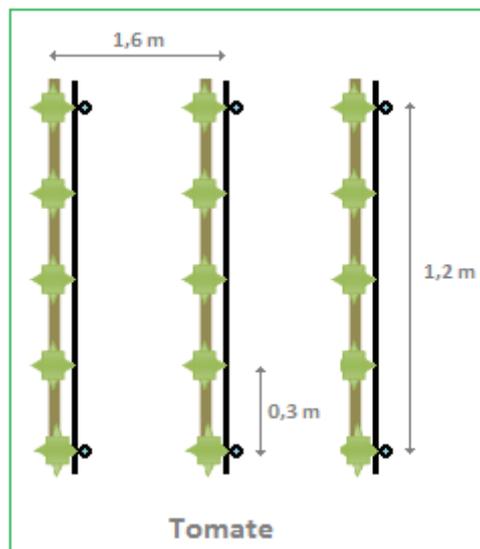


Figura 22. Marco de plantación y riego de tomate
Fuente: Propia

Con los marcos de plantación calculados se consigue un porcentaje de suelo mojado (P) de 87% para patata, un 84% para tomate y un 94 % para cebolla. Dado que el porcentaje de suelo mojado recomendable para cultivos hortícolas se encuentra entre el 80 y 90%, se puede concluir que estas configuraciones son adecuadas, pues un 4% más de agua en el caso de la cebolla no es un valor crítico.

6.3 ALTERNATIVAS PROPUESTAS

Frente a las debilidades que presenta el actual sistema de riego, rediseñar nuevas alternativas que se ajusten al entorno de Etiopía, permitiendo a la vez mejorar la eficiencia de la instalación y la calidad de vida de los agricultores, es uno de los objetivos del presente proyecto.

Las alternativas planteadas a continuación pretenden dar respuesta, por un lado, a las deficiencias técnicas que presenta el diseño de riego actual, consiguiendo un funcionamiento eficaz del mismo y por otro lado, se ha hecho hincapié sobre los aspectos que permitan mejorar la salud y calidad de vida de las personas, como son reducir el esfuerzo físico, el tiempo de riego y en consecuencia el tiempo de trabajo. Todo ello intentando crear un diseño sencillo y económico.

Es importante decir que gran parte del material empleado en las alternativas que se describen será reutilizado de la instalación actual con el objetivo de minimizar costes, haciendo más accesibles las propuestas presentadas.

6.3.1 ALTERNATIVA 1: BOMBEO MANUAL CON CANALIZACIÓN EXTERNA DEL AGUA HASTA EL DEPÓSITO SITUADO EN LA PARCELA

La primera propuesta consiste en extraer el agua del pozo mediante bombeo manual, pero en este caso en vez de transportar el agua a pie hasta el depósito situado a 50 metros, se canalizaría a través de una tubería galvanizada elevada, sostenida sobre piquetes de madera, hasta el depósito situado al lado de la parcela por gravedad, puesto que la diferencia de cota (8 metros) lo permite (Figura 23).

Además, el tamaño del depósito se aumentaría a una capacidad tal para que albergara el volumen de agua requerido para el cultivo más exigente durante dos días, ya que durante el fin de semana no hay escuela y por tanto tampoco bombeo. El guardia de seguridad de la escuela, del mismo modo que sucede en la instalación actual, sería el encargado de abrir la válvula de control para que el riego comience. Si se consulta el Anexo V, se aprecia que el cultivo más exigente es el tomate, por tanto se diseñará el tanque de acuerdo a sus requerimientos hídricos, de esta manera podrá ser utilizado también para los otros cultivos. Así pues, el depósito tendrá una capacidad de 2600 L.

Ventajas

- Reducción del esfuerzo físico.
- Aumento del tamaño del depósito.
- Posible llenado del depósito en un solo periodo y mayor disponibilidad de tiempo.
- Instalación muy sencilla.
- Coste de instalación bajo.

Inconvenientes

- Los piquetes de madera pueden resultar peligrosos para los niños.
- El bombeo continúa siendo manual.
- Exposición de la tubería a los fenómenos atmosféricos pudiendo dar lugar a un deterioro rápido.

- Si el riego se realiza con el agua almacenada en el depósito situado al lado de la parcela, la diferencia de cota es mínima y habrá problemas de heterogeneidad de caudales. Si el riego se realiza mientras se bombea, la diferencia de cota es de 8 metros y no existe este inconveniente.

Con el fin de tener una idea clara del diseño de esta propuesta, en la Figura 23 se muestra un esquema gráfico de la primera alternativa.

Además, en el plano 2 del Anexo VIII, se presenta la distribución a escala de esta propuesta. Cabe decir que el marco de plantación representado es el correspondiente al cultivo de patata utilizando el material existente (ver apartado 2 del Anexo VII).

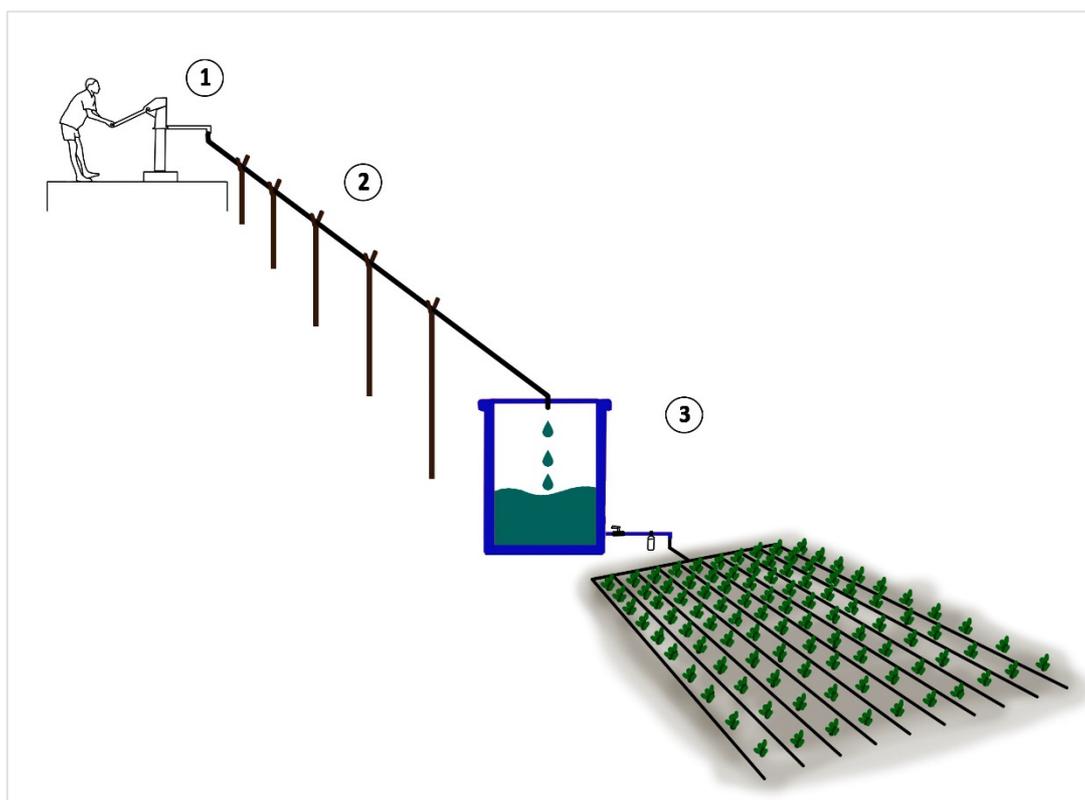


Figura 23. Esquema gráfico de la primera alternativa propuesta. 1) Bombeo manual. 2) Transporte por gravedad a través de tubería elevada. 3) Llenado del depósito.

Fuente: Laura Martínez Mifsut

En el apartado 2.1 del Anexo VI, se describen con detalle los elementos y dimensiones de cada uno de los componentes que forman este diseño.

Cálculos del funcionamiento del sistema

Para observar si esta alternativa consigue irrigar con caudales más homogéneos que el diseño actual propuesto por la BDU, se deberá conocer qué caudales llegan a la misma. En el apartado 2.1 del Anexo VI se presentan con detalle todos los cálculos, sin embargo a continuación se muestran los resultados.

Presión y caudal

La presión y en consecuencia el caudal, con el que el agua llegue a la instalación varía en función de cómo se aplique el riego. Así pues, las dos opciones que hay son:

- **Riego directo desde el pozo mientras se bombea el agua.**

En este caso se cuenta con un desnivel de 8 metros que permitirá aumentar la presión en la red y con ello el caudal. En este caso, el caudal medio que saldría por los emisores, siempre teniendo en cuenta un margen de variación del 10% es:

$$q = 2,39 \text{ l/h}$$

Este valor demuestra que aunque el sistema no trabaje al 100% de su eficacia, pues eso sería si llegase el máximo caudal (2,8 l/h) a la red, se aproxima mucho más que el diseño actual, en el cual el caudal medio que llega a la red es de 0,94 l/h (ver apartado 5.5.4).

- **Riego desde el depósito al lado de la parcela.**

En caso de que el agua se almacene en el depósito y se riegue desde éste, solo se cuenta con la altura del depósito respecto del suelo, ya que al tener unas dimensiones tan grandes no es viable colocarlo sobre una superficie elevada. Puesto que el depósito tiene capacidad para dos riegos, el agua no es dotada de la misma energía y en consecuencia la presión y el caudal van disminuyendo. Por esta razón se ha calculado un valor aproximado del caudal medio durante el primer riego (teniendo en cuenta que se vacía medio depósito), y otro caudal medio durante el segundo riego (se vacía la otra mitad del depósito). Así pues, los resultados obtenidos han sido los siguientes:

- Caudal medio durante el primer riego → $q = 1,02 \text{ l/h}$

- Caudal medio durante el segundo riego → $q = 0,46 \text{ l/h}$

Como cabía esperar, los caudales son mucho más reducidos que si se aplica el riego directo desde el pozo, lo cual significa que durante el fin de semana, a no ser que se responsabilicen del bombeo personas diferentes a los niños, las plantas recibirán menor cantidad de agua y de forma bastante irregular.

Se puede concluir que esta alternativa sería viable si se administrara el riego a la vez que se bombea, ya que de la otra forma el riego no se aporta correctamente.

Tiempo empleado al riego

El tiempo dedicado al riego se reduce muy considerablemente en comparación a la duración actual, únicamente suprimiendo el transporte manual del agua hasta el depósito. Así pues, el tiempo total de riego aproximado es:

$$t_{\text{riego}} = 2 \text{ h } 4 \text{ min } 8 \text{ s}$$

Con esta alternativa se consigue reducir un 80% el tiempo dedicado a la actividad del riego, pudiéndolo emplear en otras tareas.

6.3.2 ALTERNATIVA 2: BOMBEO MANUAL CON DEPÓSITO AL LADO DEL POZO Y CANALIZACIÓN DEL AGUA POR UNA TUBERÍA SUBTERRÁNEA HASTA LA RED DE RIEGO

La segunda alternativa consiste en extraer el agua del pozo mediante bombeo manual, pero en este caso se canalizaría por una tubería hasta un depósito situado a dos metros del pozo. Desde dicho depósito se conduciría el agua por gravedad, aprovechando así la diferencia de cota (8 metros), mediante una tubería enterrada hasta la red de riego situada a 50 metros aproximadamente.

Además, del mismo modo que para la primera alternativa, el tamaño del depósito se aumentaría a una capacidad tal para que albergara el volumen de agua requerido para el cultivo más exigente durante dos días, ya que durante el fin de semana no hay escuela y por tanto tampoco bombeo. El guardia de seguridad de la escuela será el encargado de abrir la válvula de control para que comience el riego durante el fin de semana. Así pues, como se explica en el Anexo V, el cultivo más exigente es el tomate, teniendo el depósito una capacidad de 2600 L.

Ventajas

- Reducción del esfuerzo físico.
- Aumento del tamaño del depósito.
- Posible llenado del depósito en un solo periodo, y en consecuencia mayor disponibilidad de tiempo.
- Instalación segura para los niños.
- Mayor durabilidad de la tubería que conecta el depósito con la red de riego.
- Disponibilidad de diferencia de cota.
- Coste de instalación bajo.

Inconvenientes

- En caso de obstrucción en la tubería enterrada, sería necesario cambiarla entera.
- El bombeo continúa siendo manual.

Con el fin de tener una idea clara del diseño de esta propuesta, en la Figura 24 se muestra un esquema gráfico de la segunda alternativa.

Además, en el plano 3 del Anexo VIII, se muestra la distribución a escala de los componentes de este diseño. El marco de plantación representado es el correspondiente a patata aprovechando el material existente

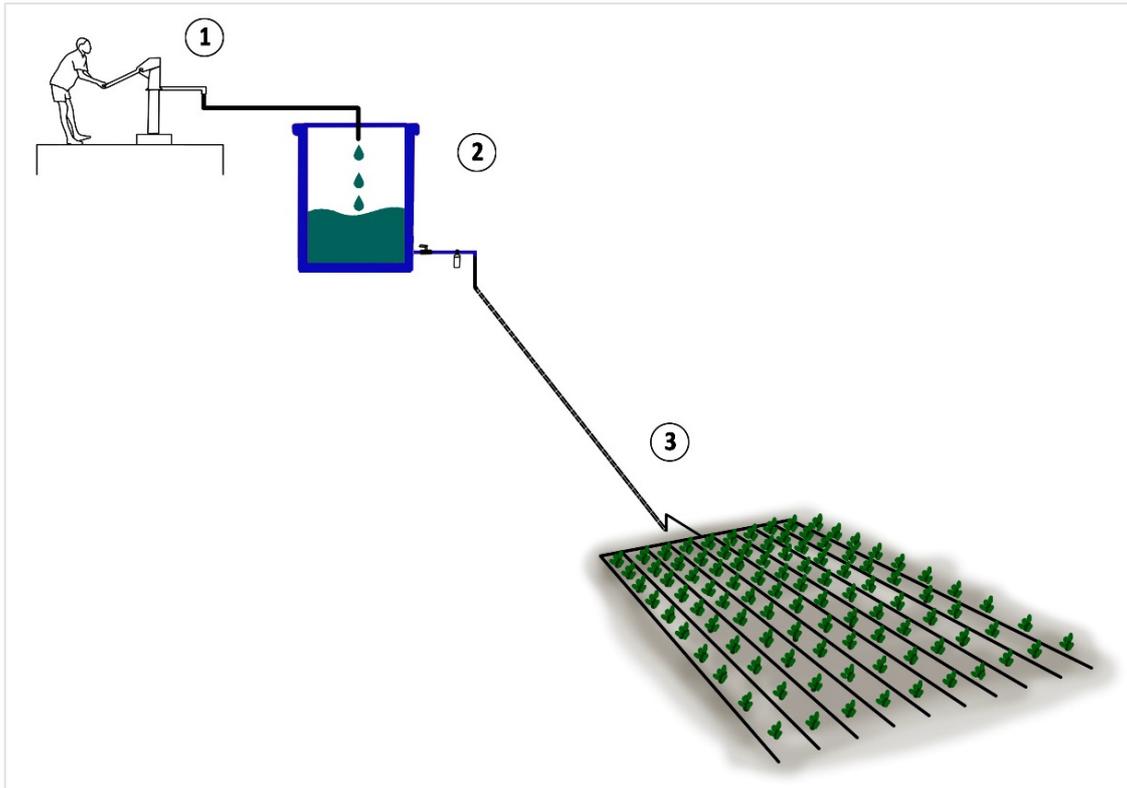


Figura 24. Esquema gráfico de la segunda alternativa propuesta. 1) Bombeo manual. 2) Llenado del depósito. 3) Transporte del agua por gravedad a través de tubería subterránea.

Fuente: Laura Martínez Mifsut

En el apartado 2.2 del Anexo VI se describen con detalle los elementos y dimensiones que forman parte del diseño de esta segunda alternativa.

Cálculos del funcionamiento del sistema

Con esta propuesta se pretende que pequeños cambios en la instalación actual generen grandes beneficios para los agricultores y para el cultivo. Las mejoras sobre los agricultores ya se han mencionado en el apartado de ventajas, no obstante, la mejora sobre el cultivo sería un diseño que consiguiera irrigar con caudales homogéneos la parcela de estudio. Para comprobar esto último, en el apartado 2.2 del Anexo VI se muestran todos los cálculos, presentando a continuación los resultados.

Presión y caudal

En esta ocasión, se cuenta con un desnivel de 8 metros, por tanto la energía aportada al agua es mayor y consecuentemente lo será el caudal. Por tanto, tras los cálculos realizados, se obtiene un caudal medio saliente por los emisores de:

$$q = 2,33 \text{ l/h}$$

Con esta segunda alternativa propuesta, se alcanza un caudal que se aproxima bastante al caudal teórico (2,8 l/h), superando en más del doble al que se obtiene con el diseño actual que es de 0,94 l/h (ver apartado 5.5.4). Si bien es cierto que no alcanza el 100% de eficacia, debido a que la diferencia de cota es limitante, se puede concluir que la mejora es evidente.

Tiempo empleado al riego

El tiempo dedicado al riego con esta alternativa es idéntico al empleado en la primera alternativa, ya que únicamente se utiliza tiempo para realizar el bombeo manual. Así pues, el tiempo de riego que se requiere con esta propuesta es:

$$t_{\text{riego}} = 2 \text{ h } 4 \text{ min } 8 \text{ s}$$

La reducción del periodo empleado al riego en más de un 80% repercute muy favorablemente en la vida de los agricultores, pudiendo destinar mayor tiempo al cuidado del ganado, a realizar labores de mantenimiento de los cultivos y a compartir mayor tiempo con la familia.

6.3.3 ALTERNATIVA 3: BOMBEO FOTOVOLTAICO CON DEPÓSITO DE ALMACENAJE AL LADO DEL POZO Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA A TRAVÉS DE UNA TUBERÍA SUBTERRÁNEA HASTA LA RED DE RIEGO

Aprovechando el potencial de radiación solar que tiene Etiopía y dos pequeños paneles fotovoltaicos que la UJI donó a BDU, la tercera alternativa consiste en extraer el agua del pozo mediante un sencillo sistema de bombeo fotovoltaico, con el objetivo de suprimir el bombeo manual y reducir al máximo, el esfuerzo físico y tiempo de trabajo.

El agua será conducida hacia un depósito situado al lado del pozo, y de aquí se distribuirá por gravedad hacia la red de riego a través de una tubería subterránea.

Del mismo modo que sucede en las dos propuestas anteriores, el tamaño del depósito se aumentaría respecto del que se tiene en este momento (200 L), para que tuviera una capacidad de 2600 L, pudiendo almacenar las demandas hídricas del cultivo más exigente durante dos días, de modo que si se sucediesen varios días nublados, en los que la capacidad de bombeo disminuye, hubiese suficiente agua almacenada en el depósito para poder abastecer al cultivo correctamente.

Ventajas

- Reducción al mínimo del esfuerzo físico.
- Aumento del tamaño del depósito.
- Mayor disponibilidad de tiempo.
- Instalación segura para los niños de la escuela.
- Durabilidad de la tubería enterrada.
- Disponibilidad de diferencia de cota.

Inconvenientes

- En caso de obstrucción en la tubería enterrada, sería necesario cambiarla entera.
- Instalación algo más compleja

- Coste mayor

Con el fin de tener una idea clara del diseño de esta propuesta, en la Figura 25 se muestra un esquema gráfico de la tercera alternativa.

Además, en el plano 3 del Anexo VIII, se presenta la distribución a escala de los elementos de este diseño. Cabe decir, que no se han representado los paneles fotovoltaicos y que el marco de plantación dibujado es el correspondiente al cultivo de patata aprovechando el material existente (ver apartado 2 del Anexo VII).

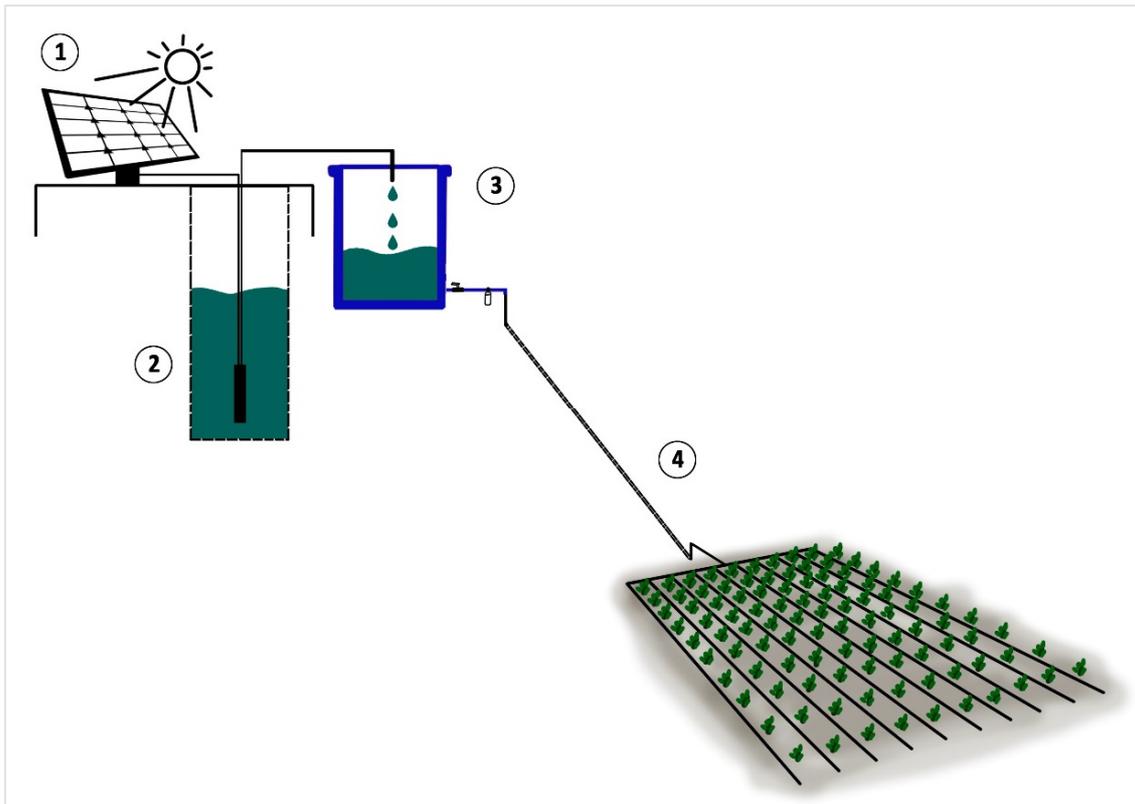


Figura 25. Esquema gráfico de la tercera alternativa propuesta. 1) Captación de energía. 2) Bombeo automático. 3) Llenado del depósito. 4) Transporte del agua por gravedad a través de tubería subterránea.

Fuente: Laura Martínez Mifsut

Para conocer con detalle los componentes, dimensiones y características de los elementos que conforman esta tercera alternativa ir al apartado 2.3 del Anexo VI. En la Figura 26 se muestran los paneles fotovoltaicos que la UIJ donó a BDU y que se utilizarían en la instalación.



Figura 26. Paneles fotovoltaicos.

Fuente: Propia

Cálculos del funcionamiento del sistema

El bombeo fotovoltaico junto con la canalización del agua hasta la red de riego generan que el agricultor apenas tenga que invertir tiempo y esfuerzo en la tarea costosa del riego. No obstante, para ratificar que el diseño planteado es viable, a continuación se muestran los resultados que lo corroboran. Los cálculos detallados del procedimiento llevado a cabo se presentan en el apartado 2.3 del Anexo VI.

En primer lugar, deben conocerse las características del pozo (ver apartado 5.5.3), paneles solares, de la bomba y de las tuberías (ver apartado 2.3 del Anexo VI).

Los paneles solares aportan una potencia total de 60W.

La bomba seleccionada es el modelo SQF 1.2-2 de la marca GRUNDFOS con potencia para bombear 15 m de altura ya que la altura de bombeo que debe salvar es de 11,93 mca. En el apartado 2.3 del Anexo VI se muestran los detalles de su selección.

Caudal extraído por la bomba

El objetivo perseguido es comprobar que con los paneles que se poseen y la bomba seleccionada sería posible bombear el volumen de agua requerido por el cultivo más exigente durante un día. En ello influye directamente la irradiancia de la zona en la que se colocarán los paneles solares. La irradiancia es la potencia incidente por unidad de superficie de la radiación solar, variando en función de las horas del día, de tal forma que cuando los paneles reciban irradiancias que alcancen valores de 1000 W/m² la potencia eléctrica a la que trabajará la bomba será máxima, es decir, en este caso 60W. A medida que la irradiancia disminuye también lo hace la potencia de la bomba, y en consecuencia ésta será capaz de extraer un caudal u otro.

Así pues, tomando como modelo las irradiancias medias de un día de enero (pues es el mes crítico para el cultivo más exigente) (ver Figura 14 del Anexo VI) y consultando la gráfica de funcionamiento de la bomba (ver Figura 13 del Anexo VI) se logra una aproximación del caudal que podría ser extraído por día. Para ello, se han agrupado las horas de un día con igual irradiancia, consiguiendo a partir de esta la potencia a la que trabajarán los paneles solares y después con esa potencia, dirigiéndose a la Figura 13 del Anexo VI se obtiene el caudal capaz de extraer la bomba. En la Tabla 3 se muestran los caudales obtenidos en un día en función de la irradiancia por horas.

VALOR DE IRRADIANCIA (W/m²)	% DE IRRADIANCIA	Nº DE HORAS	POTENCIA (W)	Q bomba (m³/h)	Q extraído (m³/h)
900	90 %	3	54	0,27	0,81
800	80 %	1	48	0,2	0,2
700	70 %	2	42	0,14	0,28
600	60 %	1	36	0,05	0,05
				Q_{TOTAL} = 1,34 m³	

Tabla 3. Caudales en función de las irradiancias

Es decir, con los paneles solares disponibles y la bomba seleccionada se podrían conseguir 1.340 L de agua al día. Teniendo en cuenta que el cultivo más exigente (tomate) en los días críticos requiere 1.272,5 L (ver apartado 2 del Anexo V), el diseño de la tercera alternativa es capaz de abastecer adecuadamente las necesidades hídricas de los cultivo y por tanto se podría concluir que se trata de un sistema eficiente.

Sin embargo, en la realidad existen caídas de tensión por temperatura, además de que 70 L de margen es bastante bajo, y en caso de que se dieran días nublados cabe la posibilidad de que no se bombeara la demanda necesaria. Por esta razón, una solución viable sería comprar dos paneles fotovoltaicos más, iguales a los que se utilizan. Esto generaría que la potencia del sistema en vez de 60 W fuese de 120 W, y con esta potencia el caudal bombeado aumentaría a más del doble.

Dado que los profesores de la UJI implicados en estos trabajos han solicitado más proyectos de cooperación con BDU, en caso de que estos fuesen aceptados, cabría la posibilidad de que se pudieran donar más kits fotovoltaicos, de modo que no supondría ningún coste adicional.

Tiempo empleado al riego

Con esta alternativa el tiempo dedicado al riego quedaría reducido a minutos, pues únicamente es necesario la apertura de la válvula control para que comience el riego y el cerrado de la misma al finalizar. Durante el periodo de duración del riego el agricultor puede desempeñar otras tareas porque no debe realizar ninguna función por lo que al riego se refiere.

6.4 CONCLUSIÓN

Con este trabajo se han pretendido mostrar diferentes alternativas al diseño de riego actual implantado por Bahir dar University, que cumplieran con los objetivos que se han ido citando.

No obstante, se pretende que sean alternativas viables y accesibles para el entorno en el que se plantea, por esta razón las propuestas presentadas se han adaptado a las características iniciales de la zona de estudio. El hecho de adaptar los diseños expuestos supone que los sistemas de riego no sean 100% eficientes, ya que las peculiaridades de la zona, tales como desnivel o distancia del pozo a la parcela, lo impiden. Sin embargo, sí que ha quedado reflejada la mejora que se produce, tanto a nivel técnico como a nivel humano, con los cambios planteados.

Si bien es cierto que la alternativa que cumple completamente con los objetivos del presente proyecto es la tercera, no se deben desechar las otras dos, ya que la elección de una u otra alternativa se llevará a cabo en función de las capacidades económicas, de modo que si en un principio no es posible costear la compra de una bomba, existen otras dos alternativas más accesibles y que generan beneficios de igual forma tanto para los cultivos como para las personas.

7. PRESUPUESTO

Como ya se ha mencionado a lo largo del trabajo se ha intentado utilizar el material existente con el objetivo de reducir costes. No obstante, para llevar a cabo las alternativas propuestas se requiere la compra de material. Dado que el entorno para el que se plantea el proyecto es Etiopía, los materiales deben estar disponibles y accesibles en el país.

A continuación, se presenta un presupuesto aproximado del coste que supondría cada alternativa, teniendo en cuenta únicamente los componentes que sería necesario comprar. Para conocer de primera mano los precios del material, durante la estancia en el país, se recorrieron diversas tiendas locales en las que se preguntaron precios, y se contactó con empresas locales suministradoras de algunos materiales, con el fin de realizar un presupuesto lo más real posible.

El coste del personal no se ha considerado porque al tratarse de un proyecto experimental, sería llevado a cabo por el personal de Bahir Dar University.

Las empresas en las que se solicitó presupuesto fueron:

- **Dejenna endowment.** Suministro de tuberías
- **Amare & Alemye Share Company.** Suministro de depósitos a medida (Tlf: 0918288356)
- **Grundfos.** Suministro de bombas y paneles fotovoltaicos
- **Tiendas locales.** Suministro de tuberías.

7.1 PRESUPUESTO ALTERNATIVA 1

En esta propuesta se aprovecharía la válvula control, el filtro y el material de la tubería principal, terciaria y lateral, de tal modo que únicamente suponga un coste la tubería galvanizada, el depósito y los piquetes de madera (Tabla 4).

Elemento	Ud	Mediciones	Precio ud (ETB) ⁷	Precio total (ETB)	Precio total (€)
Tubería galvanizada (Ø50 mm)	m	50	33,33	1.666,6	71,87
Depósito	ud	1	6.240	6.240	269,08
Piquetes de madera	ud	17	11,36	193,17	8,33

PRECIO TOTAL ALTERNATIVA 1 (€)	349,28 €
---------------------------------------	-----------------

PRECIO TOTAL ALTERNATIVA 1 (ETB)	8.099,77 ETB
---	---------------------

Tabla 4. Coste de la primera alternativa.

El coste de la primera alternativa asciende a TRESCIENTOS CUARENTA Y NUEVE EUROS con VEINTIOCHO CÉNTIMOS.

7.2 PRESUPUESTO ALTERNATIVA 2

En este caso, la válvula control, el filtro y el material de la tubería terciaria y laterales se utilizan del material comprado por la BDU, de modo que solo supone sobrecoste la tubería galvanizada, el depósito y la tubería subterránea (Tabla 5).

Elemento	Ud	Mediciones	Precio ud (ETB)	Precio total (ETB)	Precio total (€)
Tubería galvanizada (Ø50 mm)	m	2	33,33	66,66	2,87
Depósito	ud	1	6.240	6.240	269,08
Tubería subterránea (Ø32 mm)	ud	50	12,05	602,5	25,98

PRECIO TOTAL ALTERNATIVA 1 (€)	297,93 €
---------------------------------------	-----------------

PRECIO TOTAL ALTERNATIVA 1 (ETB)	6.909,16 ETB
---	---------------------

Tabla 5. Coste de la segunda alternativa.

El coste de la segunda alternativa asciende a DOSCIENTOS NOVENTA Y SIETE EUROS con NOVENTA Y TRES CÉNTIMOS.

⁷ ETB son las siglas de Ethiopian Birr, moneda oficial de Etiopía (1€ ≈ 23,19 ETB en diciembre de 2015)

7.3 PRESUPUESTO ALTERNATIVA 3

Del mismo modo que en las propuestas anteriores la válvula control, el filtro y el material de la tubería terciaria y laterales se aprovechan del material de la instalación actual. Como se ha mencionado en el apartado 6.3.3 los paneles fotovoltaicos que se utilizarán serán los donados por la UJI a BDU, por tanto no supondrán un coste extra. Así pues, los elementos que incrementan el precio de esta alternativa son los siguientes:

Elemento	Ud	Mediciones	Precio ud (ETB)	Precio total (ETB)	Precio total (€)
Tubería PVC pozo (Ø75 mm)	m	12	45	540	23,28
Tubería subterránea (Ø32 mm)	ud	50	12,05	602,5	25,98
Depósito	ud	1	6.240	6.240	269,08
Bomba	1	1	34.785	34.785	1.500

PRECIO TOTAL ALTERNATIVA 1 (€)	1.818,34 €
PRECIO TOTAL ALTERNATIVA 1 (ETB)	42.167,5 ETB

Tabla 6. Coste de la tercera alternativa.

El coste de la tercera alternativa asciende a MIL OCHOCIENTOS DIECIOCHO EUROS con TEINTA Y CUATRO CÉNTIMOS.

7.4 SOBRECOSTE DE LOS NUEVOS MARCOS DE PLANTACIÓN

El material necesario para los nuevos marcos de plantación tiene las mismas características que el actual, únicamente difiere en la separación entre los emisores integrados, pero el precio es el mismo. Así pues, en base a la cantidad de laterales necesarios (ver apartado 3.1 del Anexo VII), el sobrecoste por la compra de material nuevo para un cultivo sería:

Elemento	Ud	Mediciones	Precio ud (ETB)	Precio total (ETB)	Precio total (€)
Tubería PVC (Ø16 mm)	m	140	3,47	485,8	20,95

Tabla 7. Sobrecoste por la compra de laterales para implantar nuevos marcos de plantación

A continuación, se presenta una tabla en la que se muestra el sobrecoste que supondría el material para uno, dos o los tres cultivos:

Material para 1 cultivo	20,95 €
Material para 2 cultivos	41,88 €
Material para 3 cultivos	62,85 €

Tabla 8. Sobrecoste en función de la cantidad de material comprado

El coste por la compra de material para un cultivo asciende a VEINTE EUROS con NOVENTA Y CINCO CÉNTIMOS.

El coste por la compra de material para dos cultivos asciende a CUARENTA Y UN EUROS con OCHENTA Y OCHO CÉNTIMOS.

El coste por la compra de material para tres cultivos asciende a SESENTA Y DOS EUROS con OCHENTA Y CINCO CÉNTIMOS.

Castellón, a 8 de febrero de 2016.

El proyectista:

Inés Torán Gascón

8. BIBLIOGRAFÍA

- ABAY ETIOPÍA, (2015a). “Cultura y religión de Etiopía”
<http://www.abayetiopia.org/> (07/01/2016)
- ABAY ETIOPÍA, (2015b). “Clima y Geografía de Etiopía”.
<http://www.abayetiopia.org/conoce-etiofia/clima-y-geografia-de-etiofia>
 (08/01/2016)
- ADUGNA, A., (2014). “Amhara Demography and Health” en *Ethiopian Demography and Health*
<http://www.ethiodemographyandhealth.org/AMHARA2014.pdf> (18/01/2016)
- AEMET, (2015),
<http://wwis.aemet.es/es/home.html> (08/01/2016)
- ÁFRICANOSMIRA.ORG, (2012). “Nueva colaboración científica de la Universitat Jaume I en Etiopía” en *Áfricanosmira.org Tigray-Ethiopia*
http://www.africanosmira.org/online/detall_noticia.php?ID_n=462 (16/01/2016)
- AMARE & ALEMYE SHARE COMPANY, (2015).
- BOTANICAL-ONLINE SL., (2016). “Suelo Arcilloso”
<http://www.botanical-online.com/suelo-arcilloso.htm> (20/01/2016)
- COPÉPODO, (2013). “La naturaleza de Etiopía contada para europeos” en *Diario de un Copépedo*
<https://copepedo.wordpress.com/2013/06/17/la-naturaleza-de-etiofia-contada-para-europeos-15-introduccion/> (08/01/2016)
- DEJENNA ENDOWMENT, (2015),
<http://www.dejennaendowment.com.et/biruhtesfa.htm> (04/02/2016)
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division), (2013).
<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E> (09/01/2016)
- GOOGLE MAPS, (2016).
- GRUNDFOS, (2013),
<http://www.nucleosolar.com.ar/docs/Grundfosliterature-335.pdf> (29/01/2016)
- IDP (International Development Partnerships), (2012).
<http://www.idp-uk.org/Resources/Maps/Maps.htm> (16/01/2016)
- MAEC (Ministerio de Asuntos de Exteriores y Cooperación), (2015). Ficha del país. Madrid, España.
http://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/ETIOPIA_FICHA%20PAIS.pdf
 (06/02/2016)

MoFED (Ministry of Finance and Economic Development) con MoARD (Ministry of Agriculture and Rural Development), (2010). Agricultural Growth Program (GAFSP GAP Financing). Federal Democratic Republic of Ethiopia.

http://gafspfund.org/sites/gafspfund.org/files/Documents/Ethiopia_1_of_6_Proposal_for_GAFSP_Financing.pdf (06/02/2016)

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), (2014). “Informe sobre Desarrollo Humano 2014”

<http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr14-summary-es.pdf> (06/02/2016)

THE FEDERAL DEMOCRATIC REPUBLIC OF ETHIOPIA CENTRAL STATISTICAL AGENCY, (2014). Agricultural sample survey 2013/2014, Vol. 1 en Area and production of major crops.

WARNER, J., STEHULAK, T. y KASA, L., (2015). “Woreda-Level Crop Production Rankings in Ethiopia: A Pooled Data Approach” por International Food Policy Research Institute (IFPRI)

WIKIPEDIA, (2016),

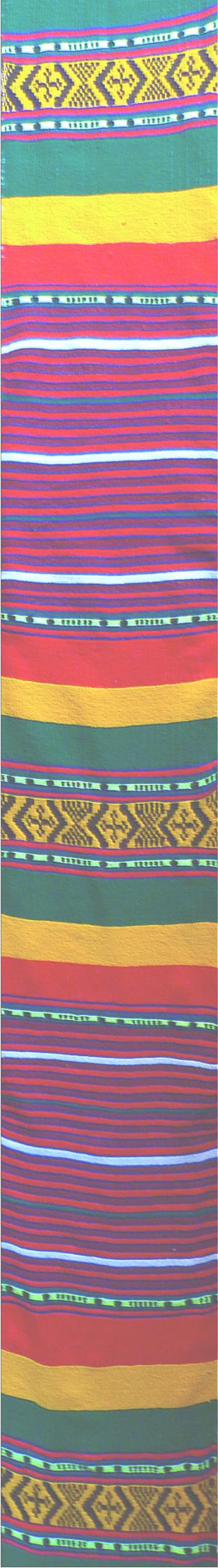
<https://es.wikipedia.org/wiki/Etiop%C3%ADa> (16/01/2016)

WORLDMETERS, (2014). “Population”.

<http://www.worldometers.info/world-population/population-by-country/>
(16/01/2016)

ZEGEYE, M., TADIWOS, T. y AMAN, A. (2014). “Optimal sizing of solar water pumping system for small scale irrigation: Case study of Dangila” en *International Journal of Renewable and Sustainable Energy*. Vol.3, No, 5, pp. 99-107.

<http://article.sciencepublishinggroup.com/pdf/10.11648.j.ijrse.20140305.13.pdf>
(06/02/2016)



ANEXO I

CONTEXTO Y SITUACIÓN ACTUAL EN ETIOPÍA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. CONTEXTO SOCIOPOLÍTICO	4
3. DEMOGRAFÍA	6
4. CONTEXTO SOCIOECONÓMICO Y DESARROLLO DEL PAÍS.....	8
5. CONTEXTO SOCIAL Y CULTURAL.....	10
6. EDUCACIÓN	11
7. CONTEXTO MEDIOAMBIENTAL	13
8. FALTA DE ELECTRICIDAD Y FALTA DE AGUA.....	15
9. BIBLIOGRAFÍA	17

1. INTRODUCCIÓN

Considerado como uno de los países menos desarrollados del mundo (ocupando la posición 174 de un total de 188 países, según el Índice de Desarrollo Humano (PNUD, 2015)), Etiopía es el decimocuarto país más pobre del mundo. Antiguamente conocida como Abisinia y oficialmente llamada República Federal Democrática de Etiopía (RFDE), es un país situado en el extremo este de lo que se conoce como el Cuerno de África.

Desde la independencia de Eritrea, en abril de 1993, carece de salida al mar, dependiendo de Yibuti para sus exportaciones marítimas. Cuenta con una superficie de 1.127.127 km² y sus países limítrofes son por el norte Eritrea, por el noreste Yibuti, por el este Somalia, por el sur Kenia y Somalia y por el oeste Sudán y Sudán del Sur.



Figura 1. Mapa de localización de Etiopía.

Fuente: MAEC (2015)

Cuando se piensa en Etiopía desgraciadamente se relaciona de inmediato con el peor de sus problemas: la grave situación de inseguridad alimentaria que sufre el país desde hace tanto tiempo. Y es que la tasa de mortalidad por malnutrición es de 48,19/100.000 personas, cifra que por desgracia muestra la enorme desigualdad que existe entre los países de todo el mundo, principalmente en los países africanos (por ejemplo en España, dicha tasa es de 0,16/100.000 personas)¹. Gracias a la solidaridad y compromiso de miles de personas que forman parte de multitud de organizaciones sin ánimo de lucro, se puede luchar diariamente a favor de la igualdad social y económica en multitud de países, apoyando a los más desfavorecidos mediante soluciones que puedan mejorar su calidad de vida. Sin embargo, a pesar de la ayuda que recibe Etiopía parece que no es suficiente, pues la tasa de mortalidad infantil de niños menores de 5 años sigue siendo muy elevada (59,2 muertes cada 1.000

¹ Datos obtenidos de World Life Expectancy, 2014 (<http://www.worldlifeexpectancy.com>)

niños)², y la esperanza de vida demasiado baja (63,6 años) (PNUD, 2014) en comparación con los países desarrollados.

Por estas razones, la Universitat Jaume I se subió, ya hace varios años, al carro de la solidaridad para formar parte de este colectivo que defiende los derechos humanos de todos y cada uno de los países del mundo, en el que con el presente proyecto de cooperación se desea ayudar a la población rural etíope mediante un método que les permita regar sus cultivos de forma sencilla generando máximos rendimientos y productividad, de forma que se aseguren sus necesidades alimenticias mínimas.

2. CONTEXTO SOCIOPOLÍTICO

Etiopía es el único país en África que nunca ha sido colonizado, excepto durante un periodo de cinco años (1936-1941) cuando estuvo bajo la ocupación italiana. Actualmente, la forma de Estado de Etiopía es una República Federal que se rige por los principios de la constitución aprobada en 1994, en la cual se establece un sistema parlamentario bicameral con una separación tripartita de poderes (legislativo, ejecutivo y judicial) tanto a nivel federal como estatal (MAEC, 2015). No obstante, para poder entender la situación política y legal presente, se debe conocer cómo ha sido la historia del país.

Etiopía es considerado un país imperial, reinado durante gran parte de toda su historia por los que decían ser descendientes directos del rey Salomón de Jerusalén y la reina Saba, comenzando por Menelik I (hijo de Salomón y la reina Saba) y finalizando con el último emperador etíope Haile Selassie I (quien decía ser el 225º descendiente directo de Menelik I) derrocado en 1974 debido a una fuerte crisis social que provocó un cambio de gobierno hacia el comunismo (ESCOBAR, 2007).

La diversidad de etnias, culturas y religiones conviviendo conjuntamente en armonía ha caracterizado siempre a Etiopía. Sin embargo, el gobierno comunista se empeñó en homogeneizar el país, hecho que agravó todavía más la fuerte situación de desestabilidad política, social y económica. Debido a ello se produjo el afloramiento de diferentes grupos revolucionarios cuyo objetivo era defender la coexistencia de las numerosas creencias y lenguas del país, hasta que finalmente, en el año 1989 se formó el Frente Democrático Revolucionario Popular de Etiopía (EPRDF), compuesto por cuatro organizaciones étnicas (procedentes de las regiones de Tigray, Amhara, Oromo y los pueblos del Sur), partido que lleva gobernando el país desde 1991, cuando la etnicidad se adoptó como ideología determinante. Así se fundó el actual sistema de gobierno, el federalismo étnico (ESCOBAR, 2007).

La etnicidad es un aspecto clave de la Constitución del 94, estableciéndose incluso en la Carta Magna el derecho a la secesión. De hecho la Constitución etíope comienza "Nosotros, las naciones, nacionalidades y pueblos de Etiopía..." lo cual marca que el federalismo etíope es étnico y no territorial. De ahí que la RFDE esté constituida por nueve estados federados en función de los grupos étnicos: Afar, Amhara, Benishangul-Gumuz, Gambella, Harar, Oromia, Pueblos y Naciones del Sur, Región Somalí y Tigray. Además Addis Abeba y la ciudad de Dire Dawa tienen un estatus especial. – (MAEC, 2015).

² Datos obtenidos del Banco Mundial, 2015 (<http://databank.bancomundial.org/>)

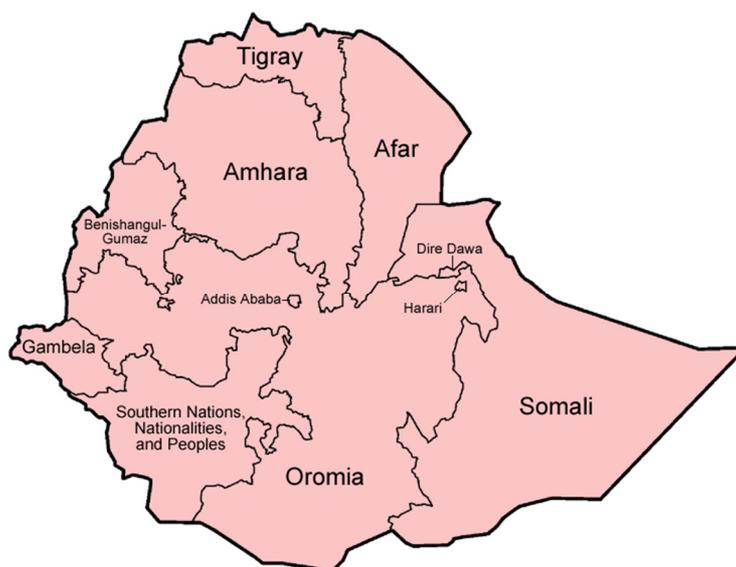


Figura 2. Regiones de Etiopía
Fuente: Wikipedia (2015)

La organización administrativa de Etiopía se divide en nueve estados federados o regiones cuyos límites están determinados por las diferentes etnias presentes en el país. Cada una de estas regiones está dividida en diferentes zonas administrativas, que al mismo tiempo, se encuentran divididas en *woredas*, y estas a su vez las componen diversos *kebeles*, que corresponde con el nivel más bajo de gobierno en cuanto a jurisdicción geográfica.

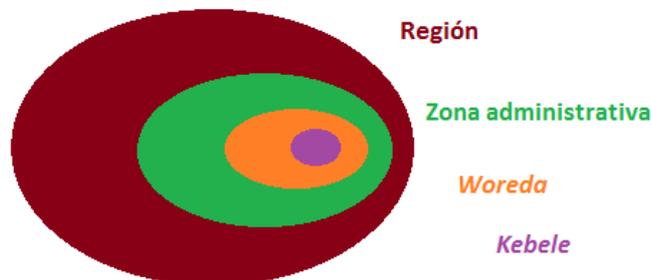


Figura 3. Esquema de la organización administrativa de Etiopía.
Fuente: propia

La Constitución de 1994, también establece un sistema parlamentario bicameral, en la que el jefe del Estado es el presidente de la República, con funciones meramente protocolarias. Por otro lado, el jefe del Gobierno es el primer Ministro, elegido por el Parlamento mediante elecciones legislativas (MAEC, 2015).

Sin embargo, la situación política actual en el país es bastante nefasta. De hecho, muchos cuestionan el actual régimen de federalismo étnico ya que a pesar de lo establecido en los documentos oficiales, en los que el gobierno otorgaba a todas las etnias representación equitativa en el marco legal, actualmente el mismo gobierno está acusado de llevar a cabo políticas centralistas, negando a los diferentes grupos las condiciones básicas para una autodeterminación efectiva. Además, el enorme control político por parte del partido gobernante, las violaciones de los derechos humanos, el bajo nivel de desarrollo logrado por el país e incluso casos de represión contra miembros de otros partidos políticos porque estos

habían acusado de corrupción al régimen, han generado sospechas de que el gobierno federal no promueve un auténtico federalismo étnico y tampoco ha generado el espacio político adecuado para que los diversos grupos tengan una presencia política efectiva (ESCOBAR, 2007).

La situación política que vive Etiopía es bastante delicada, de hecho durante la estancia en el país se ha comprobado que hablar de política o criticar al actual Gobierno en público es un tema casi “*tabú*”, sólo debaten estos temas cuando se sienten totalmente seguros en sus casas, siendo comunes frases como “*The government is doing it so well, everything is perfect*” cuando se preguntaba por este tema. Además, la manipulación de los resultados electorales es conocida, produciéndose en épocas electorales la expulsión de todos los extranjeros del país para evitar testigos de lo actos ilegales que podrían llevarse a cabo.

No obstante, a pesar de la multitud de trabas que el Gobierno pone a cualquier organización que desee realizar proyectos del ámbito que sea en el país, se debe tener presente que ninguno de estos proyectos se llevará a cabo sin la autorización pertinente del mismo. Por esta razón, a pesar de la opinión de las organizaciones hacia el Gobierno, es importante establecer una correcta relación con éste.

3. DEMOGRAFÍA

Etiopía cuenta con una población de 96.958.732 habitantes³. En su capital y ciudad más grande del país, Addis Abeba, se concentra el mayor número de habitantes (con 3.273.000 personas)⁴, seguido de ciudades importantes como Gondar (con 323.900 habitantes)⁴, Dire Dawa (con 440.000 habitantes)⁴ o Bahir Dar (con 243.300 habitantes)⁴.

Etiopía es un ejemplo claro de explosión demográfica descontrolada, de hecho en apenas quince años se ha incrementado en más de 28 millones y medio de habitantes.

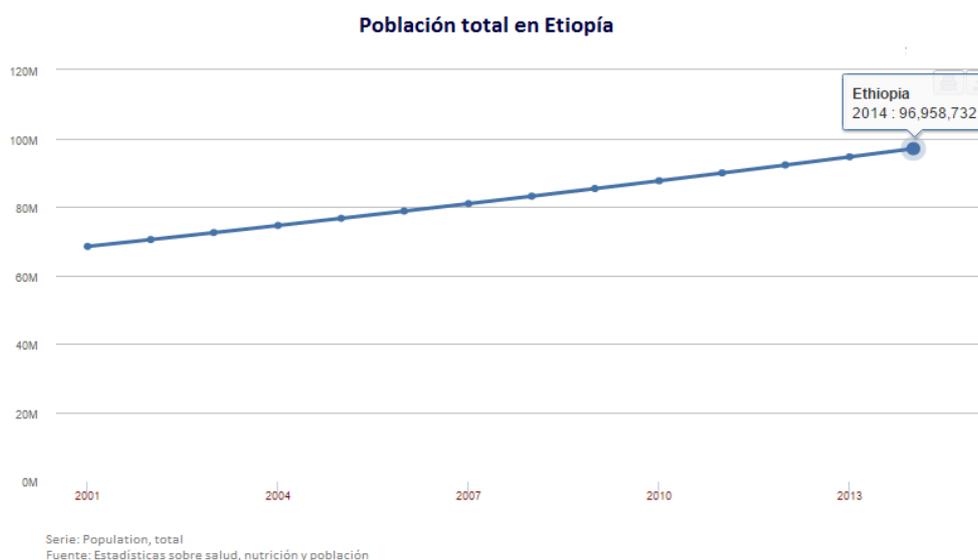


Figura 4. Población total en Etiopía
Fuente: Banco Mundial (2014)

³ Dato obtenido del Banco Mundial, 2014 (<http://databank.bancomundial.org/>)

⁴ Datos obtenidos de City Population, 2015 (www.citypopulation.de)

El actual crecimiento de la población es totalmente insostenible y junto con la grave problemática de la agricultura en Etiopía son factores determinantes que ponen en grave peligro la alimentación de las generaciones futuras.

INDICADORES SOCIALES	
Tasa de natalidad	37,27 nacimientos/1.000 habitantes
Tasa de fertilidad	5,15 niños/mujer
Tasa de mortalidad	8,19 muertes/ 1.000 habitantes
Tasa de crecimiento de la población	2,89 %

Tabla 1. Indicadores sociales de Etiopía
Fuente: The World Factbook, CIA (2015)

Además, cabe destacar que a pesar de que las zonas con mayor concentración de habitantes sean áreas urbanas, el 81% de la población etíope vive en zonas rurales donde la falta de recursos y la difícil accesibilidad al agua y a la electricidad no permiten el desarrollo próspero de las comunidades. No obstante, es cierto que una parte importante del aumento de la población registrado desde hace quince años hasta ahora se ha producido en las zonas urbanas, mientras que en las zonas rurales el ascenso ha sido más leve si lo comparamos con los datos totales en cada una de las respectivas zonas.

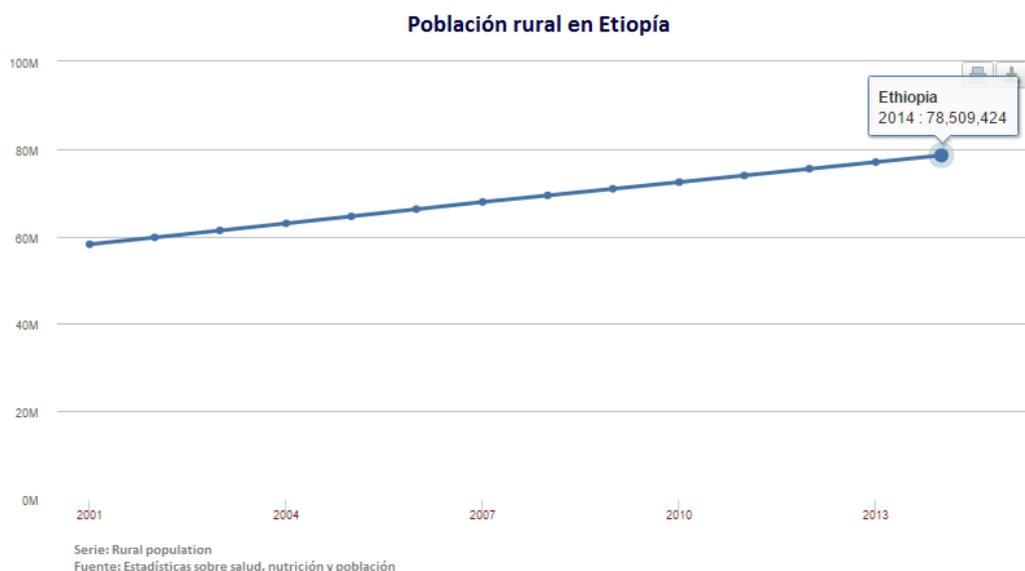


Figura 5. Evolución de la población rural en Etiopía
Fuente: Banco Mundial, 2014

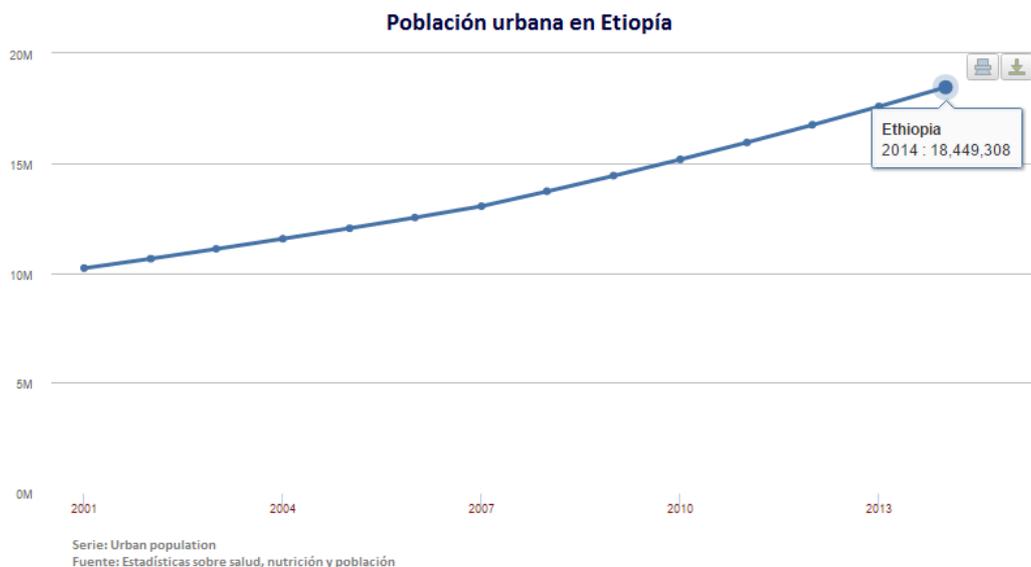


Figura 5. Evolución de la población urbana en Etiopía
Fuente: Banco Mundial, 2014

El Gobierno etíope debe tomar medidas urgentes que permitan garantizar la seguridad alimentaria, mejorar las condiciones y calidad de vida de la población etíope. Si el ritmo de crecimiento continúa como hasta ahora y no cambia la situación, los alimentos serán cada vez más escasos, en consecuencia más hambrunas achacarán el país y las muertes por desnutrición se incrementarán todavía más.

4. CONTEXTO SOCIOECONÓMICO Y DESARROLLO DEL PAÍS

Etiopía lleva una década de crecimiento a un ritmo superior al 10% anual, casi el doble de la media del África Subsahariana, debido principalmente a la agricultura y los servicios. El crecimiento promedio anual del Producto Interior Bruto (PIB) en 2013 fue de 10,5 %⁵.

La moneda oficial del país es el Birr, cuya equivalencia con el euro es de 1€ aproximadamente 23,19 ETB⁶ (a fecha de diciembre de 2015).

Si vives durante un tiempo en una ciudad grande de Etiopía, el cambio es patente. Multitud de obras en marcha, otras en construcción y otras también paradas, con el objetivo de mejorar las infraestructuras del país. Pero ¿de dónde procede tanto capital para financiar los proyectos? La penetración de las empresas chinas en el país es muy elevada y gran parte de las infraestructuras se construyen por empresas chinas que aportan financiación procedente de ese país. Se dice que la inclusión de tantas empresas chinas se debe a un acuerdo al que llegaron el país asiático y Etiopía, en el cual China perdonaba la deuda externa que tenía con el país africano a cambio de que éste contratase empresas chinas, que a su vez contrataban a trabajadores etíopes, para construir las infraestructuras. Así pues, Etiopía está casi atado de pies y manos mientras China tiene un filón de trabajo en el mismo, que realizan con materiales de muy baja calidad.

⁵ Dato obtenido del Banco Mundial, 2013 (<http://databank.bancomundial.org/>)

⁶ Las siglas ETB significan *Ethiopian Birr*

Sin embargo, parece que tanto ajeteo ni se vislumbra en las zonas rurales. La pobreza sigue siendo persistente afectando a un 39% de la población en el país⁷ y el 30,65% de sus habitantes vive con menos de 1,25€ al día (PNUD, 2014). Además, el hambre continúa acechando el país siendo la razón directa o indirecta del 28% de la mortalidad infantil en el país⁸ pues el precio de productos esenciales para el correcto desarrollo de los más pequeños, como la carne o la leche, tienen precios inalcanzables para muchas familias.

Lo habitual es asociar la desnutrición a la escasez de alimentos, a la pobreza, pero a juicio de Iñaki Alegría, pediatra en el hospital de Gambo, la razón es multifactorial. [...] Cuando faltan productos básicos, el daño es igual de grave. Y en Etiopía ocurre, ya que solo el 4% de los niños tiene acceso a una dieta variada. "Hay muchos alimentos necesarios para el correcto crecimiento de un niño que no están al alcance de las familias más humildes, como la carne, que es prohibitiva" asegura también Olga Arijá, hematóloga española y voluntaria en el mismo centro sanitario. – (HIERRO, 2015a)

Una de las prioridades del Gobierno etíope es impulsar programas de agricultura para combatir la desnutrición y de este modo ofrecer independencia económica a las familias con sus hogares en las zonas rurales y en consecuencia disminuir la tasa de pobreza extrema.

[...] el crecimiento etíope se debe a la expansión de los sectores agrícola y de servicios, y también al aumento del consumo privado y de la inversión pública. Este fenómeno ha traído consigo una notable reducción de la pobreza en zonas urbanas como rurales. El Gobierno espera certificar este año que la pobreza extrema ha caído más de 14 puntos, del 38,7% de la población registrado en 2005 al 24% hoy. – (HIERRO, 2015b)

En los últimos años, ha reducido la desnutrición del 57% al 44% y la mortalidad de menores de cinco años pasó de 139 muertes por cada 1.000 nacidos vivos a 77 por 1.000, lo que le acerca al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio de la ONU. Pero hay datos que no pueden obviarse: que aún más de 300.000 niños son tratados por desnutrición cada año, y que otro 44% sufre un retraso en el crecimiento, por ejemplo – (HIERRO, 2015a)

La economía del país se basa en la agricultura (el café es el cultivo más exportado), pero el gobierno está intentando diversificarla hacia otras ramas de producción, textiles y generación de energía. Sin embargo, las largas temporadas de sequía, en las que la productividad se ve gravemente afectada, la falta de variedades de cultivo de altos rendimientos, el uso de tecnología y métodos de cultivo tradicionales y el ataque de plagas y enfermedades hacen que el crecimiento económico avance poco a poco.

Actualmente la economía etíope sigue el llamado Plan Nacional de Crecimiento y Transformación (GTP)⁹ que se sustenta en dos pilares fundamentales: el primero consiste en lograr un entorno económico estable aumentando la productividad agrícola, la competitividad en los sectores secundario y terciario, apoyo a las pymes y mejorar el acceso y calidad de la infraestructuras. El segundo pretende mejorar las prestaciones de los servicios sociales, el acceso a los servicios de salud y educación, disminuir la inseguridad alimentaria a la

⁷ Dato obtenido de la CIA World Factbook, 2012 (<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/et.html>)

⁸ Dato extraído del informe "The Social and Economic Impact of Child Undernutrition in Ethiopia" (http://www.unicef.org/ethiopia/FINAL_Ethiopia_COHA_Summary_Report_June_20_24pg_72dpi.pdf)

⁹ Ver el GTP en: <http://planipolis.iiep.unesco.org/upload/Ethiopia/EthiopiaGTP.pdf>

que se exponen miles de hogares y fortalecer la gestión sostenible de los recursos naturales (HIERRO, 2015b).

No obstante, todavía queda mucho trabajo por hacer, ya que mientras el PIB permanece elevado, la Renta per cápita se encuentra entre las más bajas del mundo con 1.600 \$ (CIA World Factbook, 2015).

DISTRIBUCIÓN POR SECTORES	PIB (%)	TRABAJADORES (%)
<i>Agricultura</i>	42,3%	85%
<i>Industria</i>	15,4%	5%
<i>Servicios</i>	42,2%	10%

Tabla 2. Estructura del Producto Interior Bruto (2014) y porcentaje de trabajadores por sectores (2009)

Fuente: *The World Factbook*, CIA (2015)

5. CONTEXTO SOCIAL Y CULTURAL

Como ya se ha dicho, Etiopía es un país basado en el federalismo étnico, en el que prima el respeto a todas y cada una de las diferentes etnias que conforman este maravilloso país. El idioma es un ejemplo de ello, pues existen más de 80 lenguas diferentes, siendo el Amárico la lengua oficial del país, que comenzó a difundirse a partir del siglo XIII con la llegada al poder de la dinastía salomónica. El amárico actualmente es hablado por el 80% de la población etíope, bien sea como lengua materna o como segunda lengua. Cabe destacar la lengua hablada hasta el siglo X con el imperio *aksumita* (el *ge'ez*), utilizada hoy en día en la liturgia de la Iglesia Ortodoxa etíope (equivaldría a nuestro latín) (ABAY, 2015).

En cuanto a la religión, cabe señalar que en Etiopía la Iglesia Ortodoxa etíope y el Islam son mayoritarias. Además, coexisten seguidores de la Iglesia católica, protestantes y creencias tradicionales en un porcentaje muy minoritario, así como también la religión hebrea. Es destacable que a pesar de la diversidad de creencias siempre se han respetado las unas a las otras y han convivido todas en armonía. La región de Amhara y todo el norte del país son la cuna del cristianismo, aunque su influencia está por todo el país. La religión Islámica es la más importante en la zona oriental del país, no obstante continua estando muy lejos de equipararse al cristianismo, de hecho a Etiopía se le conoce como “un islote de cristiandad en un mar de Islam”. Durante la estancia en Bahir Dar, ciudad perteneciente a la región de Amhara, se comprobó que el porcentaje de creyentes y practicantes es elevadísimo, no estando bien aceptado por la sociedad el ateísmo (ABAY, 2015).

Una peculiaridad de la cultura etíope es su calendario, único en el mundo. Allí se continua empleando el calendario juliano que se basa en 12 meses de 30 días y un mes extra de 5 días o 6 días en caso de que el año sea bisiesto. El primer mes del año en el calendario etíope es septiembre y el último el mes extra que añaden entre agosto y septiembre. Además, entre el calendario de Etiopía y el actual europeo existen 7 años menos de diferencia, basados en que el calendario etíope deriva de la interpretación bíblica, mientras que el europeo se basa en la creación de la ciudad de Roma (ABAY, 2015).

Una de las problemáticas sociales determinantes para alcanzar el desarrollo del país es la fuerte desigualdad de género existente. Las mujeres son las encargadas de caminar largos kilómetros en busca de agua potable, bombear agua de los pozos, realizar todas las tareas del hogar o de sembrar entre otras, hecho que en muchas ocasiones les impide asistir a la escuela. Tanto la educación superior como la política son casi inalcanzables para la mayoría de las mujeres. Durante la estancia en Bahir Dar esta desigualdad de género quedaba reflejada cuando a menudo los hombres se extrañaban porque nuestro compañero solía hacerse la comida, lavaba su propia ropa o participaba en las tareas del hogar. Este hecho describe completamente cómo es la sociedad etíope, por lo menos la presente en Bahir Dar: el hombre no tiene el deber de realizar las tareas del hogar, sino que será su mujer, madre o hermana quien lo hagan en su lugar.



Figura 6. Dos mujeres etíopes sembrando mientras el hombre las mira.

Fuente: Propia

Si además se tiene en cuenta la falta de acceso a la electricidad, lo que supone que todas las tareas domésticas deben realizarlas manualmente, y más si se trata de una zona rural, el desarrollo personal de las mujeres es prácticamente imposible. Incluso la falta de electricidad durante las noches, expone a las mujeres al peligro de sufrir abusos sexuales por las calles.

6. EDUCACIÓN

El sistema educativo en Etiopía difiere al español en algunos aspectos. En primer lugar, existe una educación primaria básica que va de primer a octavo grado. Durante este periodo las clases se imparten en amárico, se enseña a leer y escribir, y se va introduciendo nociones básicas de inglés poco a poco. Al finalizar octavo, los estudiantes deberán realizar un examen nacional que les permita continuar con la educación secundaria, que comprende de noveno a décimo curso. Para comenzar la preparación universitaria los estudiantes deberán pasar un segundo examen nacional, que comprende del undécimo al duodécimo curso. Para poder alcanzar los estudios universitarios, los estudiantes deben realizar otro examen estatal, y si lo pasan podrán acceder a la universidad.

En la capital de la región o en ciudades grandes existen diversas escuelas, tanto de primaria como de secundaria. Por ejemplo en Bahir Dar (capital de la región de Amaha) se encuentra Teyema Primary School, la Dilchibo Junior & Secondary School y la Ghion Secondary and Preparatory School. Sin embargo, en las zonas rurales, solamente hay escuelas de primaria y dado que los núcleos de población se encuentran muy dispersos, suelen



Figura 7. Niños en *woreda* Fogera asistiendo a la escuela.

Fuente: Propia

*Rediseño y optimización de un sistema de riego por goteo en una parcela experimental en *woreda* Fogera, Etiopía.*

construir una escuela para toda una zona, de modo que en la mayoría de los casos los niños tienen que caminar durante más de una hora para llegar a la escuela.

Es importante conocer que en las escuelas públicas, el aforo de cada clase es de 75 niños aproximadamente y según Kali Malika (Los Ángeles, California), fundadora y directora de *Dudmegn Elementary School*, la mentalidad de la sociedad etíope es la gran barrera de la educación en el país. En su escuela intentó implantar una enseñanza más personal e interactiva. Durante el primer curso recibió numerosas críticas, ya que los padres preferían que sus hijos basaran su aprendizaje en los libros, “preferían un sistema impersonal y mecánico”, asegura Kali. Y es que una de las características de la educación en Etiopía es esa, se trata de una educación mecánica que no deja a los estudiantes razonar, simplemente se basa en seguir manuales o libros y aprenderlos.



Figura 8. Dudmegn elementary school, Bahir Dar (Etiopía)

Fuente: Laura Martínez Mifsut

En el momento de seleccionar los estudios que quieren realizar, los jóvenes deben de rellenar una solicitud especificando la carrera que deseen y la región de la que proceden. En función de esto el Gobierno es el encargado de distribuir a los estudiantes por las diferentes universidades del país, de tal modo que nunca un estudiante será admitido en la universidad de su ciudad, sino que lo distribuirán en la universidad de otra *woreda* o Región. Este principio lo lleva a cabo el Gobierno para fomentar el intercambio cultural entre las Regiones.

En Etiopía todas las universidades excepto una son públicas. Los estudios universitarios están totalmente subvencionados por el Gobierno. Este les proporciona libros, alojamiento en residencia de estudiantes, desayuno, comida y cena, y no deben de pagar nada por curso. Lo único que los estudiantes deben pagar durante sus años de estudio es el transporte y la ropa. Además, cuando finalicen los estudios y obtengan trabajo deberán pagar una pequeña cantidad de dinero al Estado durante un determinado periodo de tiempo.

Con esta iniciativa, el Gobierno pretende animar a todos los jóvenes etíopes, tanto los que tengan como los que no tengan recursos a estudiar, con el objetivo de incrementar el conocimiento en la población etíope.

7. CONTEXTO MEDIOAMBIENTAL

Muchas personas cuando piensan en un país africano lo asocian inmediatamente a con lugar desértico donde los terrenos áridos son predominantes. Sin embargo, la riqueza medioambiental que posee Etiopía rompe todos los mitos que se tiene con el concepto general del continente africano.

Con nueve lugares declarados Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, entre los que se encuentran el parque nacional de las montañas Simien, el valle del Omo, los castillos de Gondar o las Iglesias de Lalibela, junto con parajes tentativos de serlo como las cataratas del Nilo Azul, las Iglesias y monasterios del lago Tana o el parque nacional de las montañas Bale, Etiopía posee una gran riqueza paisajística que lo hace un país entrañable y único en el mundo.



Figura 9. Cataratas del Nilo Azul, Tis Abay (octubre de 2015)
Fuente: Propia



Figura 10. Iglesia Saint George en Lalibela (octubre de 2015)
Fuente: Propia

Por desgracia, Etiopía no es inmune a los efectos del cambio climático y la degradación ambiental, que están provocando daños irreversibles tanto en la fauna y flora que conforma sus paisajes como en sus habitantes.

Como se argumenta en el *Plan Director de la Cooperación Española 2013-16*, los países subdesarrollados son los que sufren los efectos más graves del cambio climático porque la falta de recursos para actuar frente a catástrofes o situaciones inesperadas los hace mucho más vulnerables. Por su parte, el Gobierno etíope considera trascendental actuar frente al cambio climático para el desarrollo del país, incluyéndolo en el *Growth and Transformation Plan (GTP) 2010/11-2014/15*, en el que se establece que la adaptación al cambio climático y conservación del medio ambiente es necesaria y prioritaria para Etiopía, ya que tanto el desarrollo social como económico están directamente influenciados por el mismo. La emisión de gases de efecto invernadero que genera Etiopía es prácticamente ínfima, pero a pesar de esto el país está altamente afectado por el cambio climático. El país tiene grandes zonas áridas y semiáridas cuyas variaciones en el clima afectan gravemente a los ciclos normales de cultivo, dando lugar a la pérdida de producción y por consiguiente da lugar a hambrunas.

Si al actual cambio climático se le suma la fuerte degradación ambiental sufrida a causa de guerras civiles, cacerías, contaminación, explotación forestal, caza furtiva y otros impactos por parte del hombre, da lugar a una rápida degradación del hábitat que ponen en peligro de extinción a multitud de especies, tanto animales como vegetales, endémicas del país.

Una de las mayores preocupaciones para Etiopía es la deforestación, pues ésta induce a la erosión y pérdida de nutrientes del suelo, pérdida de hábitat de los animales y en consecuencia disminución de la biodiversidad.

Al principio del siglo XX alrededor de 420.000 km o 35% de la superficie de Etiopía estaba cubierta por árboles, pero estudios recientes indican que actualmente la superficie cubierta por bosque es del 11,9% de la tierra. [...] Se estima que Etiopía pierde 1.410 km de bosques cada año. Entre 1990 y 2005 el país perdió alrededor de 21.000 km. – www.country-facts.com

Etiopía es uno de los siete fundamentales centros de origen de plantas cultivadas en el mundo, por lo tanto se debe hacer cuanto sea posible para frenar esta degradación ambiental. Por esta razón, el gobierno ha puesto en marcha programas para promover la reforestación, entre los que se incluyen la educación en las escuelas con el objetivo de concienciar a los más jóvenes, así como también provee el acceso a tierras no forestales a los agricultores en las áreas rurales para promover una agricultura sostenible sin destrucción de masas forestales. Otra de las medidas para mitigar el cambio climático son innovaciones agronómicas que aumenten los niveles de carbón orgánico en el suelo, lo que supone un impacto beneficioso en la fertilidad del suelo, hidrología y la respuesta de los fertilizantes¹⁰.

El presente trabajo, que forma parte del proyecto *Strengthening the use of photovoltaic energy to promote local sustainable development in Ethiopia* – Fortalecimiento del uso de la energía fotovoltaica para promover el desarrollo local sostenible en Etiopía – llevado a cabo por los profesores de la Universitat Jaume I Luis Cabedo, Leonor Hernández y Leonor Lapeña,

¹⁰ Información extraída de Country Facts, Ethiopia-Environment (www.country-facts.com)

pretende contribuir en la mejora de la rehabilitación del medio ambiente, promoviendo la energía solar como fuente para riego en las comunidades rurales de Etiopía.

8. FALTA DE ELECTRICIDAD Y FALTA DE AGUA

Dos pilares esenciales para alcanzar el desarrollo humano son el acceso al agua y la electricidad. En Etiopía y otros muchos países subdesarrollados la inaccesibilidad a ambos recursos supone una gran barrera para para alcanzar este desarrollo.

En Etiopía como se explica en el Anexo II existen una época de lluvias y una época seca. Sin sistemas eficientes que recolecten el agua durante la estación de lluvias, resulta obvio la falta de agua durante la estación de sequía.

Debido a la falta de electricidad, los métodos que el gobierno propuso implantar para garantizar el abastecimiento del agua a gran parte de la población, fueron el bombeo manual o instalaciones de bombeo accionadas con combustibles fósiles.

Sin embargo, ambos métodos poseen grandes inconvenientes que dan lugar al fracaso de las instalaciones. Por un lado, el sistema manual, requiere que los usuarios (tarea que se les asigna principalmente a las mujeres), inviertan parte de su tiempo bombeando, cuando podrían realizar otras actividades (ir a la escuela, cuidar del ganado, tareas del hogar, etc.). Mientras que el bombeo accionado por combustibles fósiles resulta muy caro tanto su mantenimiento como el diésel, y en caso de avería se requiere personal cualificado para repararlo, lo cual es bastante difícil de conseguir (ZEGEYE, M. et al. , 2014).

Por otro lado, el hecho de que entre el 80 y 85% de la población etíope viva en áreas rurales y además no haya agrupaciones de viviendas como tal formando pueblos, sino que las casas están dispersas, se debe a que las familias construyen sus casas en la parcela de tierra que poseen, se encuentre donde se encuentre. Esto dificulta enormemente la posibilidad de construir una red de canalización de agua y sistemas de electrificación, pues no resulta viable ni económica ni físicamente.

El Gobierno de Etiopía intentó cambiar esta situación, ofreciendo a las familias rurales nuevas viviendas, construidas todas más o menos agrupadas, formando pueblos, de manera que pudiesen construir sistemas de canalización de agua y de electrificación, pudiendo así las familias disponer de agua y luz en sus casas. A pesar de la insistencia, las familias se negaron a abandonar sus hogares.

La energía es fundamental para impulsar el crecimiento económico y social. Las energías renovables (solar, eólica, etc.) cuya contaminación es mínima, es una opción viable para garantizar el futuro del desarrollo del planeta. Actualmente tanto el gobierno como empresas y organizaciones sin ánimo de lucro promueven la instalación de pequeños equipos de electricidad a partir de energías renovables que faciliten bien la obtención de un recurso imprescindible para la supervivencia, como es el agua, o bien poder tener una bombilla en sus hogares durante la noche. Además para luchar contra la inseguridad alimentaria el gobierno etíope introdujo en el Plan de Crecimiento y Transformación promover el uso del agua subterránea para apoyar a los agricultores mediante el uso de pozos bombeados manualmente.

En el presente proyecto se defiende un sistema de bombeo fotovoltaico para riego por goteo, en plantaciones de las zonas rurales en la región de Amhara. En este sistema la energía no se almacena en forma de energía eléctrica, sino de energía potencial, de modo que el agua se bombea desde el pozo hasta el depósito cuando la luz solar está presente (durante el día). Desde el depósito situado a una cierta cota respecto de la parcela de cultivo, el agua se conducirá mediante tuberías por gravedad, sin necesidad de electricidad.

Como se menciona en el artículo *Optimal sizing of solar water pumping system for small scale irrigation: Case study of Dangila* (ZEGEYE, M. et al. , 2014) aunque la energía fotovoltaica como fuente para el bombeo de agua en Etiopía todavía se encuentra en las etapas iniciales, el potencial solar en gran parte del país es elevado y el método de irrigación por goteo permitiría el riego de los cultivos durante todas los meses del año, y además una de las principales ventajas es que los requerimientos hídricos son inferiores para la misma productividad en comparación con el riego por inundación.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ABAY ETIOPÍA, (2015). “Cultura y religión de Etiopía”
<http://www.abayetiopia.org/> (07/01/2016)
- BANCO MUNDIAL (2015),
<http://databank.bancomundial.org/data/reports.aspx?source=estadisticas-sobre-salud,-nutrición-y-población> (07/01/2016)
- BANCO MUNDIAL (2014),
<http://databank.bancomundial.org/data/reports.aspx?source=indicadores-del-desarrollo-mundial> (07/01/2016)
- BANCO MUNDIAL (2013),
<http://databank.bancomundial.org/data/reports.aspx?source=perspectivas-económicas-mundiales> (07/01/2016)
http://data.worldbank.org/country/ethiopia#cp_gdp (07/01/2016)
- CIA WORLD FACTBOOK (2015)
<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/et.html>
(07/01/2016)
- CITY POPULATION (2015)
<http://www.citypopulation.de/Ethiopia.html> (07/01/2016)
- COUNTRY FACTS (2016). “Ethiopia- Environment”
<http://country-facts.com/en/countries/africa/ethiopia/9009-ethiopia-environment.html> (07/01/2016)
- ESCOBAR CRISTIANI, A. B., (2007). “El federalismo étnico en Etiopía: ¿Un nuevo modelo de participación?” en *XII Congreso Internacional de ALADAA* (15/01/2016)
- HIERRO, L. (2015a). “El hambre escondida” en Periódico *El País*, España
http://elpais.com/elpais/2015/01/14/planeta_futuro/1421237060_862240.html
(15/01/2016)
- HIERRO, L. (2015b). “Etiopía saca partido de la ayuda mundial” en Periódico *El País*, España
http://economia.elpais.com/economia/2015/01/29/actualidad/1422528752_185033.html
(15/01/2016)
- MAEC (Ministerio de Asuntos de Exteriores y Cooperación), (2015). Ficha del país. Madrid, España.
http://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/ETIOPIA_FICHA%20PAIS.pdf
(06/02/2016)

MAEC (Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación), (2013). Plan Director de la Cooperación Española 2013/2016.

http://www.cooperacionespanola.es/sites/default/files/plan_director_cooperacion_espanola_2013-2016.pdf (06/02/2016)

MoFED (Ministry of Finance and Economic Development), (2010). Growth and Transformation Plan (GTP) 2010/11-2014/15. The Federal Democratic Republic of Ethiopia.

http://www.iea.org/media/pams/ethiopia/Ethiopia_GTP_2010to2915.pdf
(06/02/2016)

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), (2014). “Informe sobre Desarrollo Humano 2014”

<http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr14-summary-es.pdf> (06/02/2016)

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), (2015). “Informe sobre Desarrollo Humano 2015”

http://hdr.undp.org/sites/default/files/2015_human_development_report_overview_es.pdf (06/02/2016)

WIKIPEDIA, (2015),

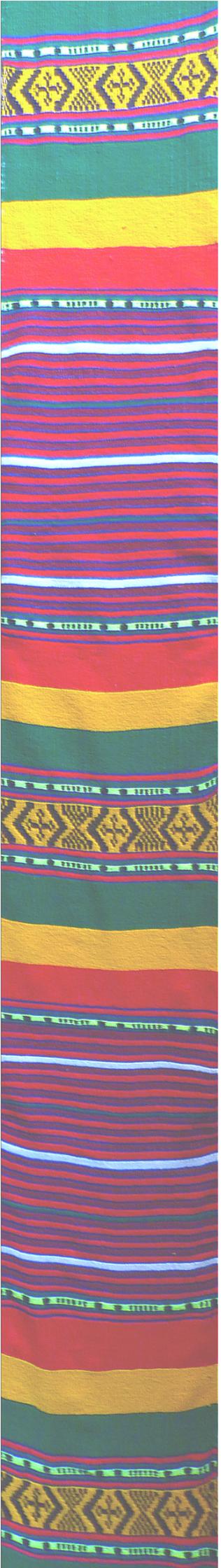
<https://es.wikipedia.org/wiki/Etiop%C3%ADa> (26/01/2016)

WORLD LIFE EXPECTANCY (2014)

<http://www.worldlifeexpectancy.com> (07/01/2016)

ZEGEYE, M., TADIWOS, T. y AMAN, A. (2014). “Optimal sizing of solar water pumping system for small scale irrigation: Case study of Dangila” en *International Journal of Renewable and Sustainable Energy*. Vol.3, No, 5, pp. 99-107.

<http://article.sciencepublishinggroup.com/pdf/10.11648.j.ijrse.20140305.13.pdf>
(06/02/2016)



ANEXO II

CLIMA Y GEOGRAFÍA EN ETIOPÍA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. GEOGRAFÍA.....	4
3. CLIMA.....	5
4. CLIMA Y GEOGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	10
5. BIBLIOGRAFÍA	12

1. INTRODUCCIÓN

Con una superficie de aproximadamente 1.127.000 km², Etiopía se encuentra situado entre los 3° y los 14° N de latitud, en plena zona tropical, y abarca de los 32° a los 48° de longitud. Situada en el corazón del llamado Cuerno de África, cuenta con relieves muy cambiantes y consecuentemente climas muy diferentes en función del área del país (COPÉPODO, 2013).

Por lo general, el continente africano se caracteriza por gozar de un terreno bastante llano, con únicamente algunas grandes elevaciones montañosas aisladas, asociadas a actividad volcánica, como es la montaña más alta del continente, el pico Kilimanjaro (5.891 m), el Monte Kenia (4.985 m) o los Virunga (4.506 m).

Sin embargo, Etiopía se aleja completamente del tópicico de país africano con grandes llanuras y se caracteriza por tener un relieve montañoso dividido en cinco regiones: el norte, dominado por el Macizo Etíope, por el nordeste la depresión de Danaquil, el centro del país contiene la depresión del Valle del Rift, en el sudoeste el Valle del Omo y en el sudeste la Región de Ogadén (COPÉPODO, 2013).

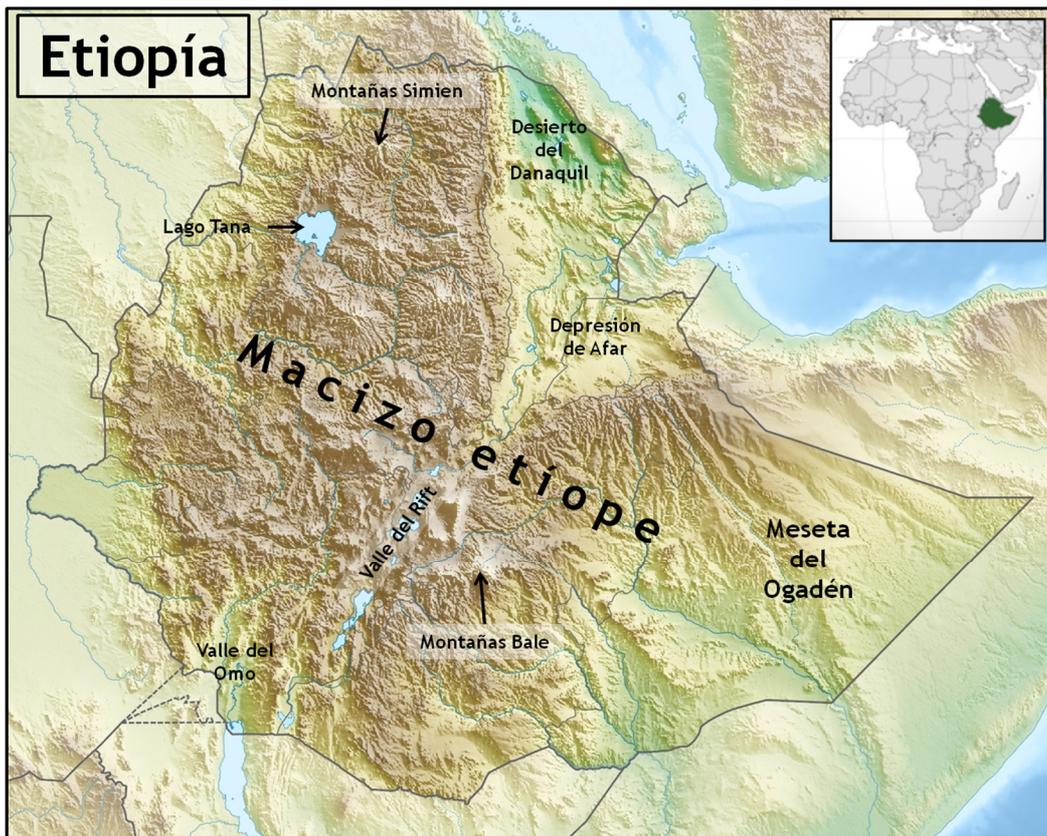


Figura 1. Mapa físico Etiopía
Fuente: COPÉPODO (2013)

2. GEOGRAFÍA

A diferencia de África, Etiopía cuenta con una enorme plataforma montañosa, también de origen volcánico, que ocupa gran parte del país, llamada el Macizo Etíope en el que la media de altitud son alrededor de 2.000 m, superando a menudo los 4.000 m en las zonas de alta montaña. En este macizo se localiza la montaña más alta del país, el pico Ras Deshen con 4.550 metros, siendo el décimo pico más alto de África.

El Macizo Etíope está dividido en dos partes, el macizo de Abisina al noroeste y el macizo del Harar al sudeste, debido a una fosa tectónica que se extiende desde el Mar Rojo y que avanza hacia el sudoeste atravesando todo el país hasta la frontera con Kenia. Es el famoso Valle del Gran Rift, que cuenta con una altitud de entre 1.200 y 1.700 m, resultante de un proceso tectónico que en el futuro generará la fractura de la placa africana y la placa somalí del resto del continente. En el macizo de Abisina se encuentran las montañas Simen, dentro de las cuales está el Parque Nacional de Simien, declarado Patrimonio de la Humanidad por la Unesco en 1978, en cuyo interior se alza el Ras Dashen. Mientras que en el macizo del Harar se localiza el parque Bale, en la que se encuentra la meseta del Sanetti (COPÉPODO, 2013).

Por otro lado, no siendo un país de pocos contrastes, cerca de las montañas Simen, por el nordeste, casi tocando a Eritrea, se encuentra el Desierto de Danaquil, cuyo punto más profundo se encuentra en la depresión de Danaquil, que en su parte más baja llega a los 116 metros bajo el nivel del mar. Este desierto se encuentra encima de una grieta en la corteza terrestre conocida como el *Infierno de la Tierra*, que se caracteriza por ser una llanura gigantesca llena de cráteres, formaciones de sal, sulfuros, vapor y azufre, siendo una de las zonas con mayor actividad volcánica del planeta. Esto, unido a las altas temperaturas que se alcanzan, entre los 35 y los 60 grados, y su vegetación inexistente, hace pensar que este lugar no es apto para ser habitado. Sin embargo, una tribu ha conseguido sobrevivir en la zona desde la antigüedad (PICOFINO, 2015).

Si nos dirigimos hacia la zona sur del país, nos encontramos con el Valle del Omo que corresponde con las zonas de altitudes entre 400 y 1.500 metros, situado entre los ríos Omo y Mago.

Por último, la región de Ogadén, que ocupa todo el sudeste del país, está compuesta por altiplanicies semidesérticas con alturas medias que rondan entre los 500 y 900 metros.

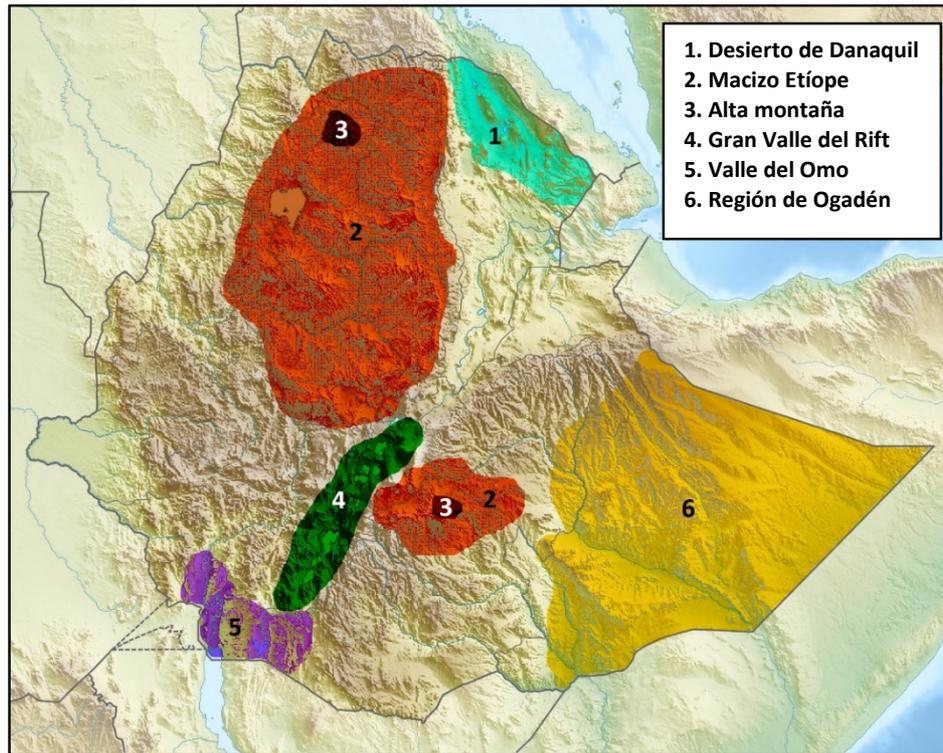


Figura 2. Regiones con altitudes diferentes

Fuente: Propia

3. CLIMA

El clima etíope también se diferencia claramente del resto de países que se encuentran en la zona tropical. Los factores fundamentales que determinan el clima en Etiopía son la altitud del terreno y la latitud geográfica.

Por su posición geográfica, muy cerca del Ecuador, podría pensarse que las temperaturas en Etiopía deberían ser elevadas, sin embargo, no es del todo así. La compensación entre latitud y elevadas altitudes da lugar a que en el interior montañoso del país, donde se alcanzan picos por encima de 2.400 m, gocen de temperaturas frescas e incluso frías, con una media aproximada de 16°. Si nos centramos en la zona subtropical, en la que se incluye la mayor parte de la llanura elevada, a una altitud entre 1.830 y 2.440 m, tiene una temperatura media aproximada de 22°, mientras que la zona tropical, aquella por debajo de los 1.800 m, tiene una temperatura anual media de 27° aproximadamente (ABAY ETIOPÍA, 2015) (ver Figura 3).

Este gran contraste térmico entre las zonas bajas y las zonas de alta montaña permite la existencia de muchos pisos de vegetación distintos y por lo tanto da lugar a una rica biodiversidad.

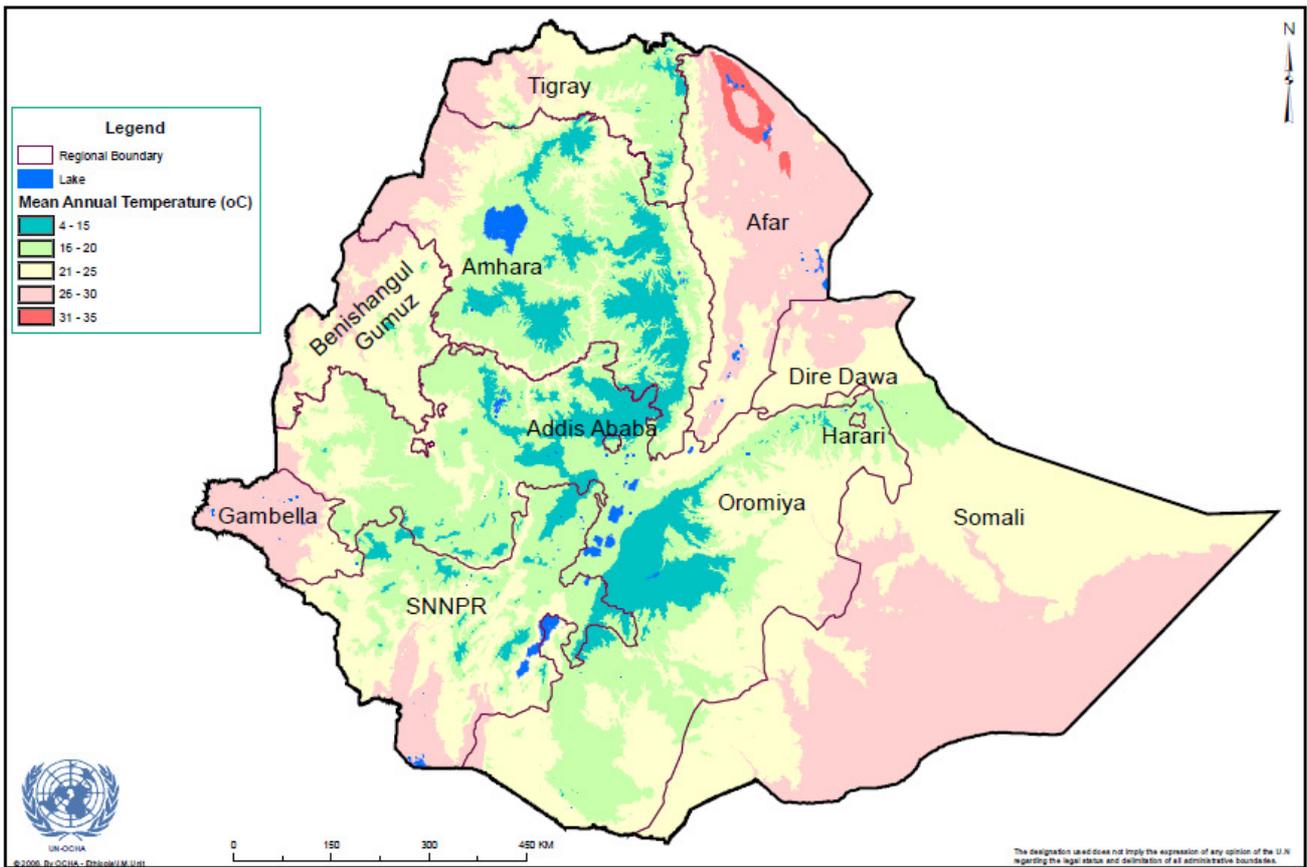


Figura 3. Mapa de temperaturas en Etiopía
Fuente: IDP (2012)

Algo parecido ocurre con las precipitaciones, muy variables también como consecuencia del Macizo Etíope. La proximidad de Etiopía al Océano Índico favorece la influencia del monzón, provocando en los meses de verano boreal (de mediados de junio a septiembre) una estación de lluvias acumuladas cuyas pluviometrías varían según la zona del país, y a la que le sigue una estación seca que puede verse interrumpida por una corta estación de lluvias en febrero o marzo (COPÉPODO, 2013). Así pues, en las zonas tropicales suelen caer alrededor de 510 mm³ anuales, en la zona subtropical tiene unas precipitaciones anuales que oscilan entre 510 y 1.525 mm³ anuales, y en las zonas de alta montaña las precipitaciones varían entre 1.270 y 1.780 mm³ anuales (VARGAS, 2012). No obstante, existen zonas como la Depresión de Danaquil donde debido a la falta de obstáculos que provoquen la precipitación orográfica, unido a la escasa altitud y la frecuente actividad volcánica, las lluvias son muy escasas. Además, en la extensa Región de Ogadén lamentablemente tienen lugar sequías importantes.

En la Figura 4 se puede observar la distribución de precipitaciones en Etiopía.

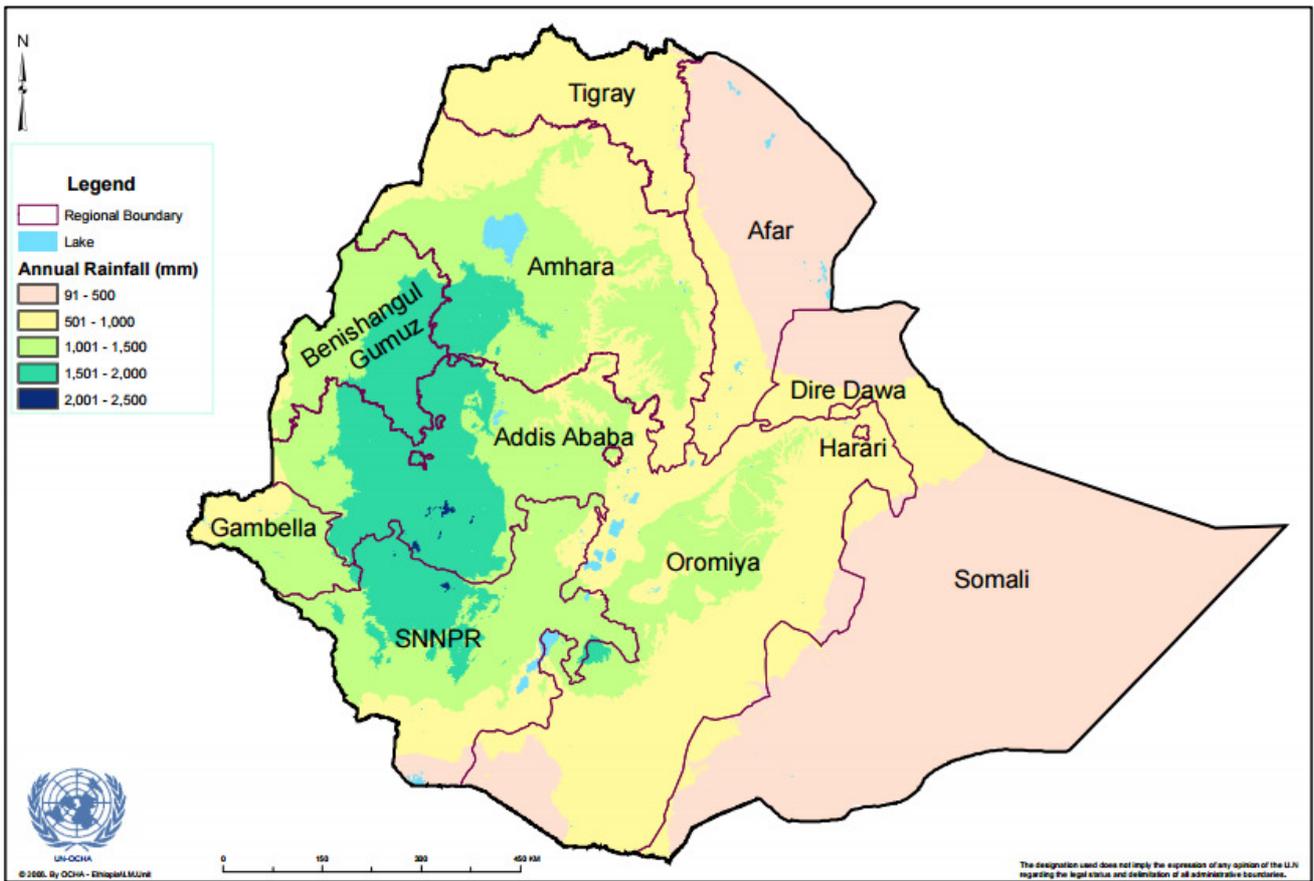


Figura 4. Precipitaciones en Etiopía

Fuente: IDP (2012)

Las precipitaciones son la mayor fuente de agua en Etiopía, junto con el agua superficial, agua subterránea y otras fuentes de agua alimentadas por la lluvia. De hecho se estima que Etiopía recibe alrededor de 980 billones de metros cúbicos de lluvia al año (BEKELE AWULACHEW et al., 2010). Por el contrario, la gran diferencia de precipitaciones en función de la época de año es un grave inconveniente del clima etíope. La productividad agraria está directamente relacionada con la irregularidad de lluvias, de modo que las poblaciones que no dispongan de sistemas de almacenamiento de agua eficiente dependerán de los cultivos recolectados en la época de lluvias.

Etiopía está dividida en 32 grandes zonas agro-ecológicas cuya clasificación se basa en regímenes de temperatura y humedad (ver Figura 6). A su vez, éstas pueden clasificarse en tres zonas primarias: áreas de elevadas precipitaciones, zonas de bajas precipitaciones y zonas pastorales (ver Figura 5).

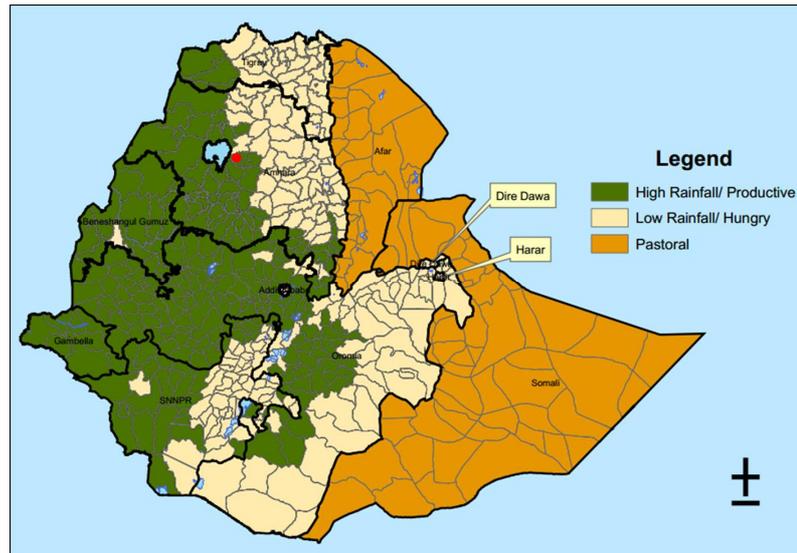


Figura 5. Zonas primarias en función de precipitaciones y evapotranspiraciones
Fuente: USAID

Cada una de estas zonas se caracteriza por (BEKELE AWULACHEW et al., 2010):

- **Zona de elevadas precipitaciones.** Cubre el 24 % de tierra, vive el 43 % de la población y representa el 51% de los cultivos permanentes. Las precipitaciones en esta área pueden ser de 800 mm/año o incluso mayores. La tierra no es particularmente vulnerable ni es muy productiva. En esta zona, el riego se podría aplicar como suplemento para producir una segunda cosecha y aumentar la productividad. Cabe destacar que aunque las precipitaciones son altas en esta zona también son muy variables, pues se dan en un periodo limitado del año.
- **Zona de bajas precipitaciones.** Cubre el 32 % de la superficie, vive el 47% de la población y representa el 39 % de los cultivos permanentes. Las precipitaciones son por lo general inferiores a 600 mm/año. Las lluvias son muy variables y el terreno está bastante deteriorado. Estas zonas son a menudo vulnerables y deterioradas, restringidas por la baja productividad y superpoblación. Aquí, el riego podría asegurar la producción de alimento, mejorar la subsistencia y aumentar la seguridad alimentaria.
- **Zonas pastorales.** Cubre el 44 % de tierra, vive el 10 % de la población y representa el 10 % de los cultivos permanentes. Esta zona está basada en el ganado y son áreas restringidas por la vulnerabilidad y la baja productividad del ganado. El riego podría crear otras formas de subsistencia y aumentar la seguridad alimentaria.

Por otro lado, una de las principales ventajas de las que dispone el clima de Etiopía es su gran potencial de radiación solar (en el año 2014 se registró una irradiación diaria anual de 6,5 kWh/m²)¹. De hecho, cabe mencionar un estudio reciente llevado a cabo por la empresa Hydro China Corporation, en el que se estima que “el potencial solar de Etiopía es de alrededor

¹ Datos ofrecidos por el Doctor Tassew Tadiwos Zewdie (Assistant Professor of Power System & Energy Application in Bahir Dar University)

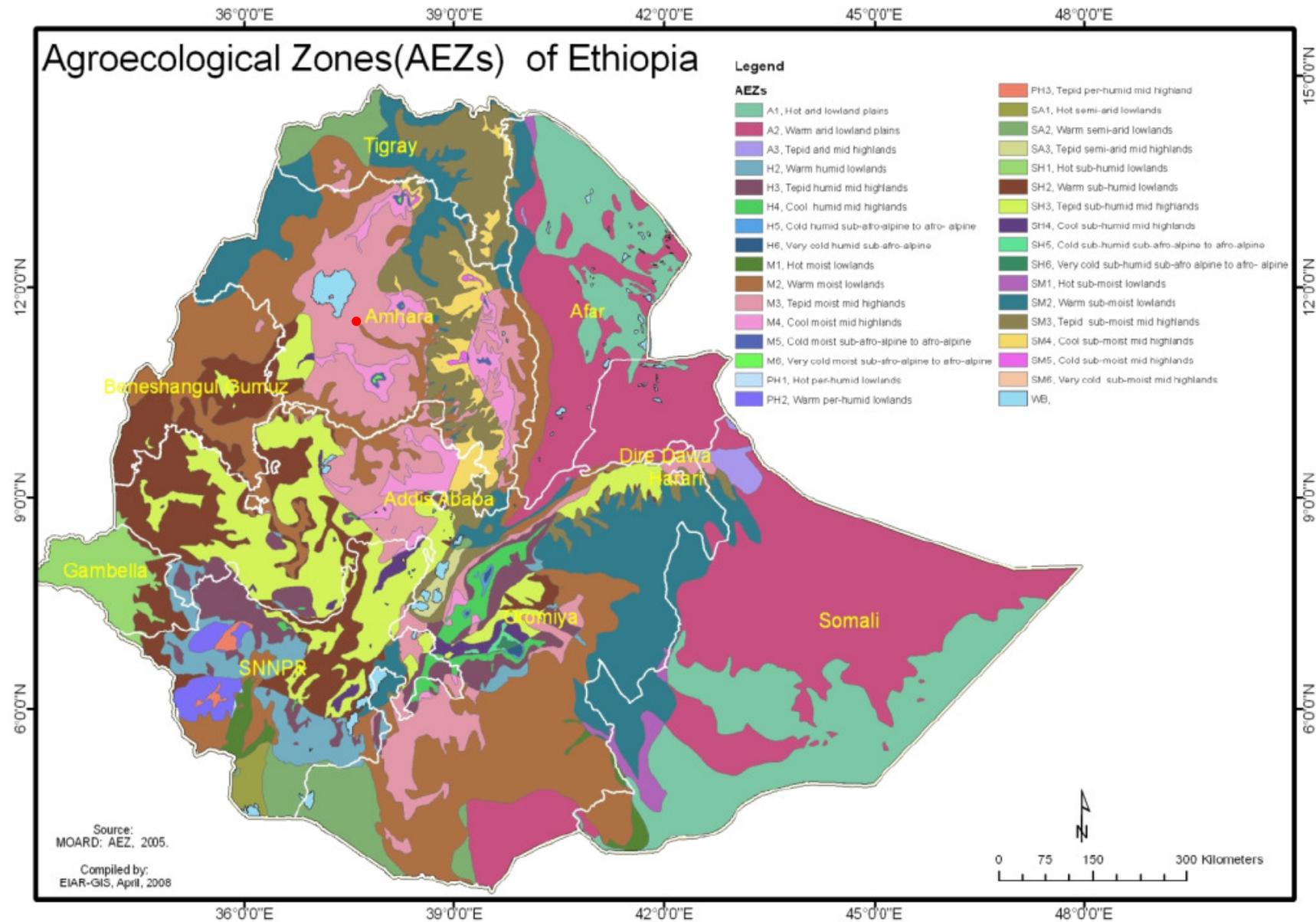


Figura 6. Mapa de las Zonas Agro-ecológicas de Etiopía

Fuente: GEBRE

Rediseño y optimización de un sistema de riego por goteo en una parcela experimental en woreda Fogera, Etiopía.

de 2 trillones de MW/h, siendo la zona norte del país la de mejor potencial” (ZEGEYE et al., 2014).

Con estos datos, queda claro que Etiopía es un país con un amplio potencial para explotar la energía solar al máximo. El uso de paneles fotovoltaicos para bombeo de agua destinada a riego podría asegurar los requerimientos hídricos en la época seca. Si bien, es cierto que la irradiación es mayor entre los meses de noviembre a mayo, disminuyendo la eficiencia durante la época de lluvias (de junio a septiembre), lo cual queda compensado por las precipitaciones y en estas fechas no sería necesario aplicar riegos, por tanto el bombeo del agua es mínimo.

4. CLIMA Y GEOGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Si bien es interesante conocer la geografía y clima del país, lo que realmente importa para este trabajo es saber en qué clima y sobre qué tipo de terreno se van a desarrollar los cultivos del proyecto.

Para ello, en primer lugar se debe identificar claramente la posición de la parcela de estudio. En la imagen inferior se marca con un punto rojo la posición exacta de la parcela.



Figura 7. Localización de la parcela de estudio

Fuente: Google maps

Por su cercanía al Lago Tana, el lago más extenso del país (con un área de 3.673 km², tiene 9 m de profundidad media, alcanzando 14 m en su punto más profundo)² del cual nace el

² Datos obtenidos de EthioVisit (<http://www.ethiovisit.com/lake-tana/37/>)

Nilo Azul, uno de los dos mayores afluentes del río Nilo, es sencillo determinar su localización en cualquier mapa. De esta forma, observando la Figura 2, queda claro que la parcela para la que se plantea el proyecto se encuentra inmersa completamente dentro del Macizo Etíope. Se sitúa sobre una vasta llanura a una altitud de 1.824 metros aproximadamente, no existiendo problemas de diferencia de pendiente en la parcela.

Las temperaturas son bastante suaves durante todo el año, no siendo en ningún momento inferiores a 8°. En la Figura 8 se muestra un gráfico de las temperaturas medias máximas y mínimas, así como las precipitaciones en la estación situada en la ciudad de Bahir Dar, ya que es la estación meteorológica más cercana que ofrece la AEMET.

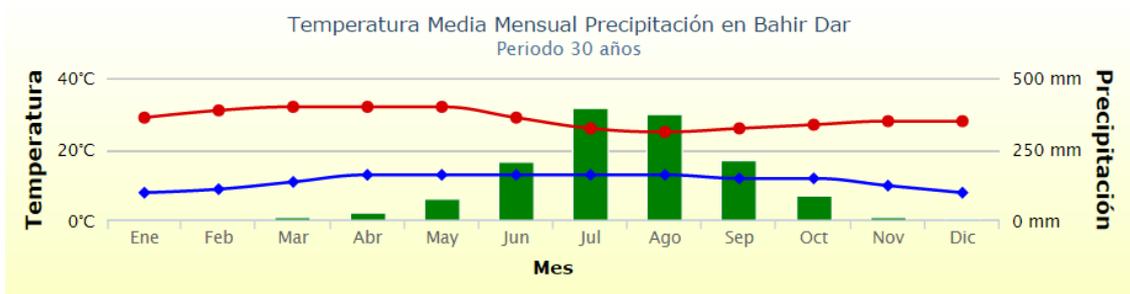


Figura 8. Temperatura media mensual y Precipitación en Bahir Dar.
Fuente: AEMET (2016)

Respecto a las precipitaciones, si se observa la Figura 4, en *woreda* Fogera caen entre 1.001 y 1.500 mm anuales, que corresponde más o menos con los datos ofrecidos por la AEMET. A pesar de que las pluviometrías son suficientes para el crecimiento óptimo de muchos cultivos, el principal problema al que se enfrentan es que son lluvias concentradas entre junio y septiembre, siendo lluvias principalmente torrenciales. En la Figura 5 se ha marcado con un punto rojo la localización de la parcela, y se aprecia que pertenece a la zona de altas precipitaciones, calificada como área productiva.

Por otro lado, dentro de la clasificación de zonas agro-ecológicas de Etiopía, en la Figura 6 se ha marcado con otro punto rojo la posición de la parcela y pertenece a la zona “poco húmeda y semi-montañosa”.

Así pues, en rasgos generales la posición de la parcela de estudio, goza de temperaturas suaves adecuadas para el correcto desarrollo de los cultivos, sin tener problemas ni de golpes de calor ni de heladas. Las precipitaciones son buenas, a excepción de que se concentran en una época del año, por esta razón y puesto que los recursos hídricos (aguas subterráneas, lagos y ríos) de los que dispone el país son muy ricos se ha planteado este proyecto para diseñar un sistema de riego por goteo que garantice la producción de vegetales durante todo el año, al mismo tiempo que se optimiza la cantidad de agua.

5. BIBLIOGRAFÍA

- ABAY ETIOPÍA, (2015). “Clima y Geografía de Etiopía”.
<http://www.abayetiopia.org/conoce-etiofia/clima-y-geografia-de-etiofia>
(08/01/2016)
- AEMET, (2015),
<http://wwis.aemet.es/es/home.html> (08/01/2016)
- BEKELE AWULACHEW, S., ERKOSSA, T. Y NAMARA, R. E. (2010). “Irrigation potential in Ethiopia, constraints and opportunities for enhancing the system” en *International Water Management Institute*.
<https://ethiopianagriculture.files.wordpress.com/2010/11/ethiopia-irrigation-diagnostic-july-20101.pdf> (06/02/2016)
- COPÉPODO, (2013). “La naturaleza de Etiopía contada para europeos” en *Diario de un Copépedo*
<https://copepodo.wordpress.com/2013/06/17/la-naturaleza-de-etiofia-contada-para-europeos-15-introduccion/> (08/01/2016)
- ETHIOVISIT, (2015). “Lake Tana”
<http://www.ethiovisit.com/lake-tana/37/> (08/01/2016)
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), (2006). “Ethiopia”
www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/ethiopia/ethiopia.htm (08/01/2016)
- GEBRE, E. “An overview of horticultural crops with emphasis on vegetables production in Ethiopia”.
<http://www.tutaabsoluta.com/pdf/Tuta-Gebra-Ethiopia-presentation.pdf>
(26/01/2016)
- GOOGLE MAPS, (2016)
- IDP (International Development Partnerships), (2012).
<http://www.idp-uk.org/Resources/Maps/Maps.htm> (16/01/2016)
- PICOFINO, (2015). “Desierto de Danakil, belleza inhóspita” en *Guía del trotamundos*.
<http://www.guiadeltrotamundos.es/2015/06/04/desierto-de-danakil-belleza-inhospita/> (08/01/2016)
- USAID (United States Agency International Development), (2015). “Feed the Future”
<https://www.usaid.gov/ethiopia/agriculture-and-food-security/feed-future>
(08/01/2016)
- VARGAS, P., (2012). “La histórica Etiopía” en *Nuevatribuna.es*.
<http://www.nuevatribuna.es/articulo/mundo/la-historica-etiofia/20121014161654082517.html> (08/01/2016)

ZEGEYE, M., TADIWOS, T. y AMAN, A. (2014). "Optimal sizing of solar water pumping system for small scale irrigation: Case study of Dangila" en *International Journal of Renewable and Sustainable Energy*. Vol.3, No, 5, pp. 99-107.

<http://article.sciencepublishinggroup.com/pdf/10.11648.j.ijrse.20140305.13.pdf>
(06/02/2016)



ANEXO III

SUELOS EN ETIOPÍA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. ANÁLISIS DE SUELOS	7
2.1 ANÁLISIS 1: GRAVEDAD ESPECÍFICA	8
2.2 ANÁLISIS 2: ANÁLISIS HIDROMÉTRICO	11
2.3 ANÁLISIS 3: DETERMINACIÓN TAMAÑO DE PARTÍCULAS	16
3. TABLAS	19
4. BIBLIOGRAFÍA	21

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es el medio físico sobre el que se sustentan las plantas, por tanto debe ser fértil y contener todos los nutrientes que éstas necesiten para permitir un crecimiento y desarrollo adecuado de las mismas. Así pues, las condiciones del suelo están directamente relacionadas con la productividad de los vegetales.

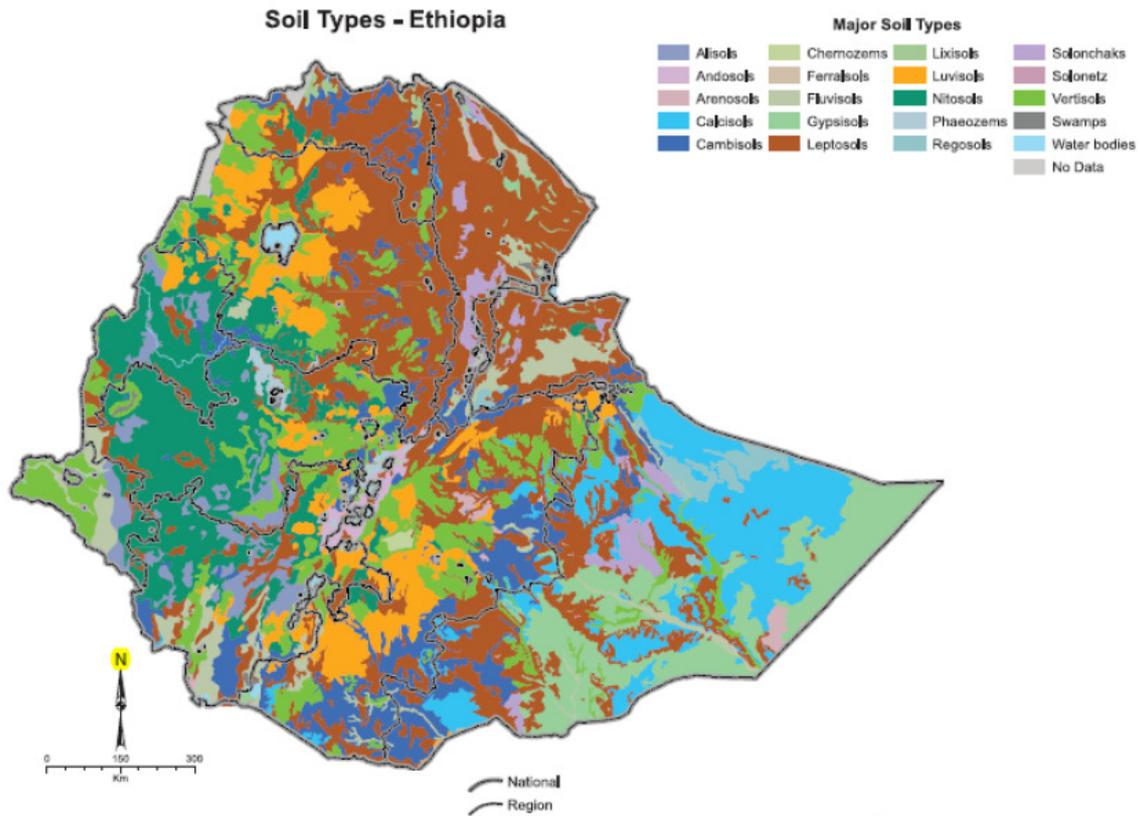


Figura 1. Tipos de suelos en Etiopía.
Fuente: GEBRE

En Etiopía el total de tierra cultivada es de alrededor de 12 millones de hectáreas, siendo la mayoría bien semi-comerciales, es decir, que una parte de la producción la destinan a la venta, o agricultura de subsistencia. Actualmente, alrededor del 80 % de la población etíope vive de la agricultura, sin embargo, aunque la población está aumentando rápidamente la producción agrícola no lo hace a la par, lo cual supone un grave peligro para garantizar la alimentación de las generaciones futuras (Ethiopian ATA, 2013).

La situación de los suelos en Etiopía no es nada buena, de hecho ésta junto con las técnicas de cultivo antiguas que continúan empleando son los principales causantes de las bajas producciones.

La intensa degradación y erosión del suelo, debido a la acción de fuertes lluvias torrenciales y vientos, genera como consecuencia un agotamiento severo de los nutrientes presentes en la tierra, lo cual da lugar a cosechas escasas.

Además, la falta de conocimiento en el uso de técnicas de cultivo actuales da lugar a que los agricultores eliminen todos los restos de cosecha del campo, en muchas ocasiones para alimentar al ganado, pero sin embargo, o no aportan estiércol o lo hacen en muy bajas cantidades, y lo mismo sucede con el aporte de fertilizantes. Esta situación está generando un agotamiento progresivo de nutrientes en los suelos, dando como resultado un empobrecimiento de los mismos, pues las plantas absorben nutrientes en la tierra que no se reemplazan, con lo cual llega un punto en el que las plantas no tienen medio de donde extraer nutrientes, de modo que si no reciben una alimentación adecuada, como todo ser vivo, no pueden desarrollarse correctamente y mucho menos lograr producciones elevadas.

Los suelos etíopes tienen deficiencias en nutrientes claves para el óptimo desarrollo de los vegetales, como el N, P, K, S y Zn, pero además recientes investigaciones también han mostrado deficiencias en B y Cu en algunas áreas.

Otro de los principales problemas de la productividad de los suelos es el modo de explotación del agua, la acidez y la alcalinidad.

Actualmente, los suelos etíopes se enfrentan a múltiples problemas relacionados con la salud y el sistema del suelo que se pueden clasificar en (Ethiopian ATA, 2013):

- Problemas a nivel de suelo: grandes problemas físicos, químicos y biológicos que afectan a la salud y fertilidad de los suelos etíopes.
- Problemas a nivel de sistema: a parte del suelo en sí, también hay muchos problemas en el manejo del conocimiento o apoyo político en este ámbito.

Por lo que respecta a los problemas a nivel de suelo, existen diversos impactos negativos sobre la salud del suelo. La imagen inferior muestra los impactos negativos que causan diferentes condiciones en los suelos etíopes:

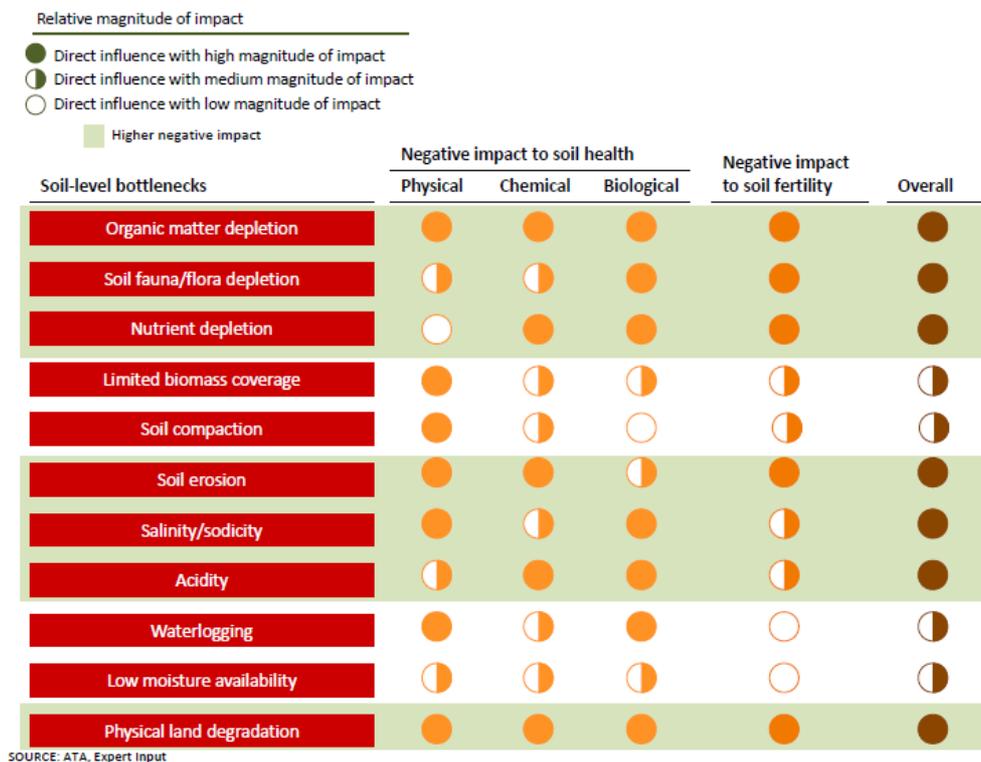


Figura 2. Impactos negativos sobre los suelos etíopes.

Fuente: Ethiopian ATA (2013)

Rediseño y optimización de un sistema de riego por goteo en una parcela experimental en woreda Fogera, Etiopía.

La materia orgánica en los suelos se ha visto altamente mermada a lo largo de una amplia superficie del país. Un contenido de carbono en la tierra inferior a 1,5 % es considerado bajo, mientras que si los valores se sitúan entre 1,5 % y 3 % se considera moderado. Pues bien, según análisis realizados en diferentes áreas del país en el año 2006, en la mayoría de los casos el contenido en carbón era bajo o moderado (Ethiopian ATA, 2013).

En cuanto al agotamiento de los nutrientes en el suelo, se debe al no reemplazamiento de los nutrientes en este por la baja aplicación de fertilizantes. Un ejemplo claro se observa en los cereales. En la Figura 3 se muestra para el caso del maíz, trigo, cebada y sorgo como el porcentaje de nutrientes que absorben estos cereales del suelo es muy elevado comparado con las cantidades de fertilizantes aplicados.

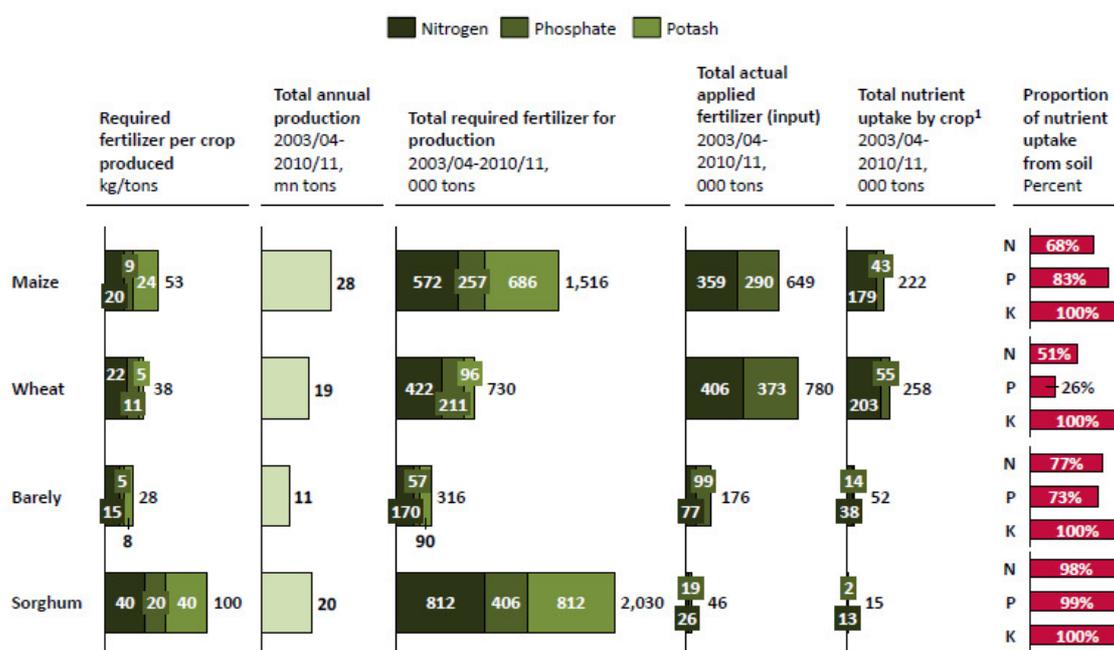


Figura 3. Comparación de los nutrientes absorbidos del suelo con los fertilizantes aplicados en maíz, trigo, cebada y sorgo.
Fuente: Ethiopian ATA (2013)

Por otro lado, Etiopía se encuentra entre los países africanos del este con mayor porcentaje de erosión del suelo con respecto al total de la tierra disponible, aproximadamente el 31 %.

Además, en el pasado Etiopía contaba con el problema de la acidez del suelo en el 40% del total de la tierra, concentrada principalmente en la zona oeste del país y en la actualidad esta tendencia tiene a agravarse.

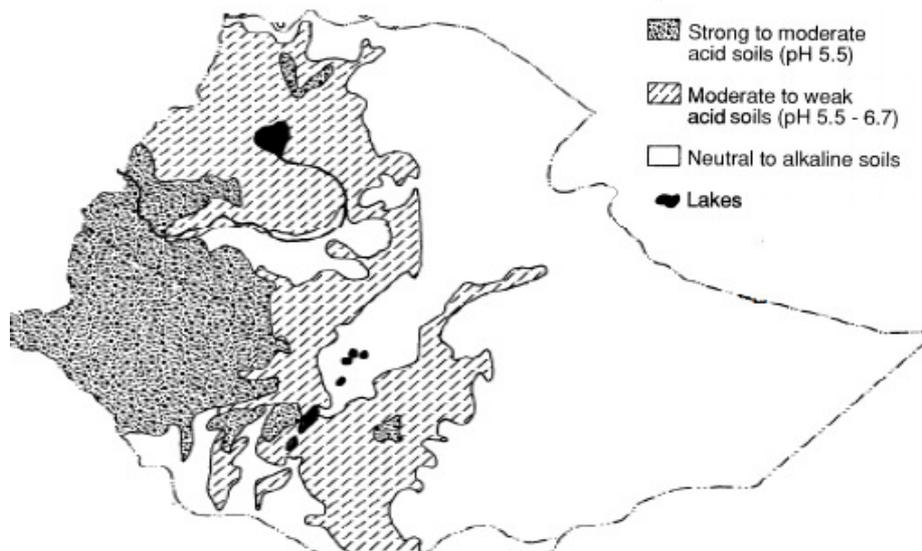


Figura 4. Superficie cubierta por suelo ácido en 1989.

Fuente: Ethiopian ATA (2013)

Respecto a los problemas a nivel de sistema, estos pueden agruparse en cinco categorías diferentes mostradas a continuación. Estas han sido traducidas por la autora del documento original (Ethiopian ATA, 2013).

1. Manejo de la información del suelo.

- Falta de actualización de información en la fertilidad del suelo
- Ausencia del uso de una base de datos para compartir la información del suelo

2. Generación, propagación y conexión de tecnología

- Falta de análisis de suelos basados en recomendaciones de expertos
- Falta de manejo de tecnología para la fertilidad y salud del suelo
- Poco interés por la fertilidad del suelo en sistemas extensivos
- Limitaciones para la investigación de la salud y fertilidad del suelo
- Laboratorios con capacidades limitadas
- Inadecuado e inapropiado manejo del riego
- Escasa coordinación entre investigadores y la academia

3. Cadena de valores de productos importados

- Acceso limitado a productos provenientes de fuera, como fertilizantes o enmiendas
- Ineficiencia en la distribución y marketing de fertilizantes
- Otras ineficiencias en la cadena de valores
- Apoyo financiero limitado para que los agricultores puedan adoptar nuevas prácticas

4. Infraestructura estratégica y reguladora.

- Mecanismos de control de calidad y sistemas reguladores para productos importados limitados.
- Falta y puesta en práctica de una estrategia para el correcto manejo de la tierra agrícola.

5. Organización y manejo de sistemas

- Ausencia de un instituto nacional independiente de investigación de suelo
- Falta de coordinación entre instituciones investigadoras
- Coordinación limitada entre los laboratorios de suelos

Frente a la peligrosa situación de los suelos en Etiopía, el Gobierno ha puesto en marcha una serie de prácticas para mejorar la fertilidad de los mismos, ya que si la situación no mejora la seguridad alimentaria empeorará gravemente. Algunas de estas medidas son (Ethiopian ATA, 2013):

- Una masiva rehabilitación de las tierras y esfuerzos para conservar los recursos naturales.
- Promover el uso de mejores prácticas como:
 - Saber manejar suelos ácidos.
 - Utilización de compost por parte de los agricultores para aumentar los niveles de materia orgánica en el suelo.
 - Introducción y prueba de nuevos fertilizantes.
 - Mejorar el manejo de suelos Vertisol, que son aquellos generalmente negros, en los que predomina un alto contenido de arcilla expansiva conocida como montmorillonita que forma profundas grietas en las estaciones secas.
 - Departamentos de investigación como ISFM (Integrated Soil Fertility Management).
- Mapeos actualizados de la fertilidad de los suelos y de las tierras agrícolas.
- Programas de enseñanza para el correcto uso de fertilizantes.

En general la situación de los suelos etíopes es bastante grave y una de las pocas sino la única solución para evitar hambrunas futuras es que se lleven a cabo cuanto antes las medidas propuestas por el Gobierno.

2. ANÁLISIS DE SUELOS

Para realizar el presente trabajo con datos cuanto más reales posibles, necesitaba conocer qué tipo de suelo presenta la parcela para la que se plantea el proyecto. Puesto que se trata de un proyecto de riego, en este caso se necesita conocer principalmente la textura del suelo, que será un condicionante imprescindible para saber las necesidades de riego, ya que van a depender de la capacidad de retención de agua del suelo.

Gracias a Solomon Fikadu, mi supervisor en Bahir Dar University, quién me puso a disposición el laboratorio de suelo de la universidad, y gracias a la colaboración de Afework Limenh y Melese Kumilim, los técnicos de laboratorio, tuve la oportunidad de realizar diferentes test de suelo con muestras tomadas de la misma parcela de estudio.

Sin embargo, únicamente pude realizar test que abordaran las características físicas del suelo, pues la universidad no disponía de suficientes medios para realizar análisis que determinaran las características químicas y biológicas del suelo.

Estas prácticas me permitieron conocer la forma de trabajar en un país diferente y pude utilizar instrumentos que no conocía hasta entonces.

Para la determinación de la textura, tamaño de las partículas y la gravedad específica del suelo de la parcela para la que se plantea el proyecto se realizaron tres análisis de suelo explicados seguidamente que se realizaron siguiendo los manuales prestados por los técnicos de laboratorio de suelo de la BDU.

A continuación se detalla el objetivo de cada análisis, el procedimiento seguido y los resultados obtenidos.

2.1 Análisis 1: GRAVEDAD ESPECÍFICA

Objetivo:

Determinar la gravedad específica de un suelo, la cual se emplea para determinar la relación de aire, agua y sólidos en un volumen de suelo dado.

Materiales:

Los materiales utilizados son:

- Tamiz de 2 mm
- Bandeja
- Bloque de hierro pesado para disgregar la muestra de suelo
- Picnómetro
- Báscula
- Bomba para hacer el vacío
- Embudo
- Cuchara
- Termómetro

Procedimiento:

En primer lugar, con el bloque de hierro se disgregan la muestra de tierra y después se pasa por un tamiz de 2 mm, hasta conseguir 25 gr de tierra.



Figura 5. A) Afework Limenh disgregando la muestra. B) Inés Torán tamizando la muestra. C) Muestra pesada en la báscula

Fuente: Propia

En segundo lugar se colocan los 25 gr de muestra en un picnómetro y se añade, a ojo, tres veces más de agua más o menos.



Figura 6. A) Picnómetro con 25 gr de muestra. B) Picnómetro con la muestra y el agua.

Fuente: Propia

En tercer lugar se coloca la muestra con el agua en un recipiente para hacer el vacío. Este aparato permite extraer el aire acumulado en los poros de la muestra. Se conecta durante 5 minutos. Después se extrae y se llena el picnómetro de agua hasta el cuello.

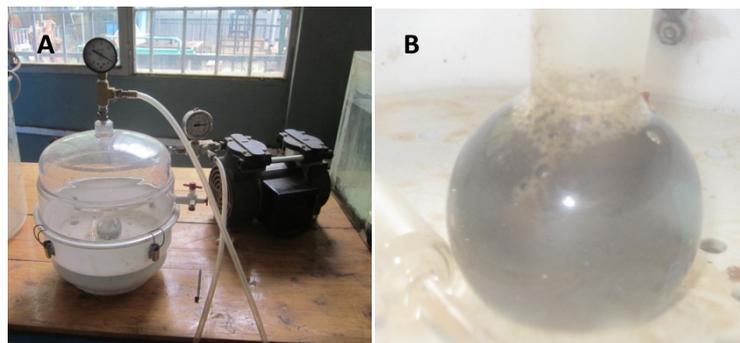


Figura 7. A) Bomba para hacer el vacío. B) Bomba para hacer el vacío extrayendo el aire retenido en los poros de la muestra.

Fuente: Propia

Resultados:

A continuación, se procede a tomar las medidas necesarias para calcular la gravedad específica. La fórmula para su cálculo es la siguiente:

$$Gs \text{ (Specific gravity)} = \frac{W_o}{W_o + (W_a - W_b)}$$

Ecuación 1

W_o = peso inicial de la muestra = 25 gr

W_a = peso del agua + peso recipiente = 97,6 gr

W_b = peso del agua + peso suelo + peso recipiente = 112,2 gr

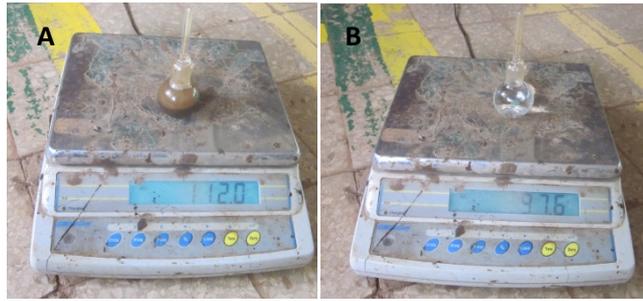


Figura 8. A) W_B . B) W_A
Fuente: Propia

En el picnómetro con agua se mide la T^a del agua con un termómetro y se obtiene que son 25 °C.

Por tanto, aplicando la Ecuación 1:

$$G_s \text{ (Specific gravity)} = \frac{W_o}{W_o + (W_a - W_b)} = \frac{25}{25 + (97,6 - 112,2)} \rightarrow G_s = 2,4 \text{ gr a } 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

Para saber la densidad del suelo a 20 °C se multiplica la gravedad específica por el parámetro “k”, empleando esta fórmula:

$$G_s \text{ a } 20 \text{ }^\circ\text{C} = G_s \times k$$

Ecuación 2

“k” se obtiene del cociente entre la densidad relativa del agua a la temperatura trabajada y la densidad relativa del agua a la temperatura correcta (20°C). Estos valores se obtienen de tablas (Tabla 3):

$$K = \frac{\text{Densidad relativa del agua a } 25 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Densidad relativa del agua a } 20 \text{ }^\circ\text{C}} = \frac{0,9971}{0,9982}$$

$$\rightarrow k = 0,9988$$

Aplicando la Ecuación 2 se obtiene:

$$G_s \text{ a } 20 \text{ }^\circ\text{C} = 2,4 \times 0,9988 = \mathbf{2,39 \text{ gr}}$$

2.2 Análisis 2: ANÁLISIS HIDROMÉTRICO

Objetivo:

Determinar el porcentaje de los diferentes tamaños de partículas presentes en el suelo. El método del hidrómetro (densímetro) permite identificar la distribución de las partículas más finas en la muestra de suelo, basándose en que las partículas tienen una velocidad de sedimentación que se relaciona con el tamaño de las partículas.

Materiales:

Los materiales empleados son:

- Báscula
- Tamiz de 0,075 mm
- Hidrómetro de 151H
- Probetas control
- Probeta de sedimentación
- Agitador
- Vaso de precipitado
- Agente dispersante: Carbonato de sodio y Hexametáfosfato

Procedimiento:

En primer lugar, pasamos la muestra de suelo por un tamiz de 0,075 mm, ya que lo que nos interesa son las partículas más finas. Realizamos este procedimiento hasta obtener 50 gr de suelo.

A continuación, se cogen dos probetas (una será el control y en la otra se realizará el test) y se llenan con 1000 mL de agua. A la probeta control la llamaremos RHC y a la probeta testada RHS.



Figura 9. Probetas

Fuente: Propia

Para la realización del ensayo no se emplea una suspensión compuesta de suelo y agua, porque precipitaría en muy poco tiempo casi todo el suelo, debido a la formación de flóculos originados por la presencia de diferentes cargas eléctricas en las partículas del suelo.

Para evitarlo, se utiliza un agente dispersante que neutralice las cargas eléctricas, permitiendo que las partículas se precipiten individualmente. El agente dispersante utilizado ha sido:

- Carbonato de sodio (7 gr)
 - Hexametáfosfato (33 gr)
- } Total agente dispersante = 40 gr



Figura 10. A) Carbonato de sodio. B) Hexametáfosfato

Fuente: Propia

Este procedimiento se deberá realizar dos veces, uno para cada probeta.

Seguidamente se procede al mezclado de los agentes dispersantes con el agua y la muestra. Para ello se coge de la probeta RHC 125 mL de agua y se mezcla con los 40 gr de agente dispersante con la ayuda de un agitador. Después se vuelve a colocar la mezcla en la probeta y se llena con agua hasta que alcance los 1000 mL, en caso de que falte.

Por otro lado, de la probeta RHS se coge un poco de agua, los otros 40 gr de agente dispersante y los 50 gr de muestra de suelo que se habían preparado al inicio, mezclamos con la ayuda de un agitador e introducimos de nuevo la mezcla en la probeta correspondiente. Tapamos la probeta con la palma de la mano e invertimos el cilindro varias veces, generando así una solución homogénea.



Figura 11. A) Introducción del agua, muestra de suelo y agente dispersante en recipiente.

B) Agitador. C) Introducción de la mezcla en la probeta RHS

Fuente: Propia

Una vez ya con las probetas listas, las introducimos en un recipiente lleno de agua, cuyo objetivo es que un motor mantenga la temperatura constante a 20 °C, de modo que así no se debe tomar la temperatura en cada lectura del hidrómetro.

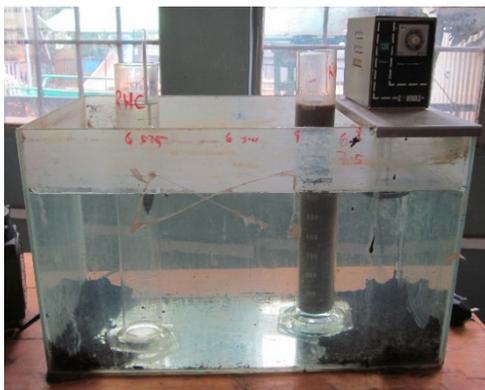


Figura 12. Probetas en el recipiente lleno de agua.

Fuente: Propia

A continuación, se toma la medida del hidrómetro en la probeta control marcada como RHC. Al tratarse de la solución control únicamente se debe tomar esta medida. Para obtener el dato real se deberá aplicar un coeficiente de corrección que depende del hidrómetro, y que en este caso al tratarse de un 151 H es de la unidad. Por tanto, la lectura obtenida fue de:

$$\rightarrow \text{RHC} = 1.029$$

Después introducimos el hidrómetro con mucho cuidado en la solución testada, para minimizar cualquier perturbación. Seguidamente se toman las medidas del hidrómetro a los 2, 5, 15, 30, 60, 250 y 1440 min.

En la tabla siguiente se muestra los datos registrados y los datos calculados para el ensayo hidrométrico. Se ha de tener en cuenta que se muestra un análisis granulométrico de los 50 gr de suelo que contenían solo partículas finas (<0,075 mm).

DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO PARA PARTÍCULAS FINAS							G _s =	2,39
Tiempo (min)	T ^a (°C)	RHS	RHC	R _c	L (cm)	K	P (%)	D (mm)
2	20 °C	1,039	1,029	1,01	13,7	0,01456	34,38	0,038
5	20 °C	1,039	1,029	1,01	13,7	0,01456	34,38	0,024
15	20 °C	1,039	1,029	1,01	13,7	0,01456	34,38	0,0139
30	20 °C	1,038	1,029	1,009	13,9	0,01456	30,94	0,0099
60	20 °C	1,035	1,029	1,006	14,7	0,01456	20,63	0,0072
250	20 °C	1,030	1,029	1,001	16	0,01456	3,44	0,0037
1440	20 °C	0,99	1,029	1,019	11,3	0,01456	65,33	0,00128

Tabla 1. Distribución de tamaño para partículas finas

Los datos se han obtenido a partir de las siguientes ecuaciones:

Para el cálculo del porcentaje de suelo pasado (P) y el diámetro de las partículas (D) se utilizan las siguientes fórmulas:

$$P = \frac{\left[\left(\frac{100.000}{w}\right) \times G\right] \times (R - G1)}{G - G1}$$

Ecuación 3

w= peso suelo
 G= gravedad específica a 20 °C
 G1= Gravedad específica del agua
 R_c= Lectura del hidrómetro corregida
 R_c= RHS ± (1-RHC)*

$$D = k \sqrt{\left(\frac{L}{T}\right)}$$

Ecuación 4

D= diámetro de partículas
 k= constante que depende del valor de G_s** (Tabla 5)
 L= profundidad efectiva (Tabla 4)
 T= tiempo

La textura del suelo se determina en función del valor de D:

Si D	{	0,075-0,006 mm → Arena 0,006- 0,002 mm → Limo < 0,002 mm → Arcilla
------	---	--

Resultados:

Puesto que hasta el minuto 60, D estaba dentro del intervalo 0,075-0,006, para obtener el porcentaje de arena se hace el promedio entre estos. Así pues el porcentaje final de arena, limo y arcilla en la muestra quedaría de la siguiente manera:

% Arena = (34,38+34,38+34,38+30,94+20,63)/5 = 30,94 % arena % Limo = 3,44 % limo % Arcilla = 100- 30,94 – 3,44 = 65,33 % arcilla	}	Se concluye que es un suelo principalmente arcilloso .
---	---	---

* (1-RHC) es la corrección dependiendo del tipo de hidrómetro, que se hace con la diferencia de la lectura del hidrómetro empleado y un coeficiente dependiente del tipo de hidrómetro, que en este caso para 151 H es de 1.
 ** Puesto que no existe un valor para G_s= 2,39, se ha tomado el valor de G_s= 2,45 y Tª 20 °C (Tabla 5).

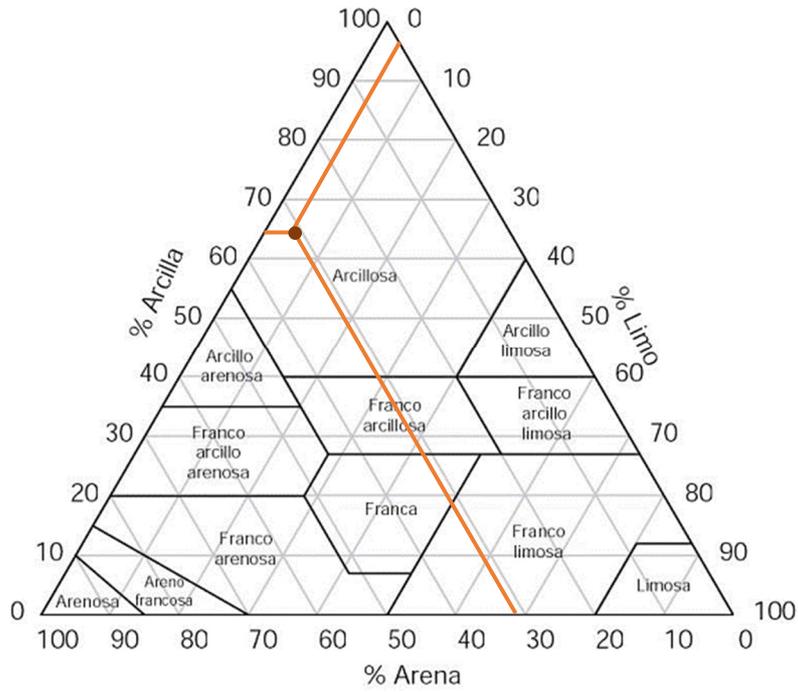


Figura 13. Triángulo textural mostrando los porcentajes de suelo de la muestra analizada.

Distribución de tamaño para partículas finas

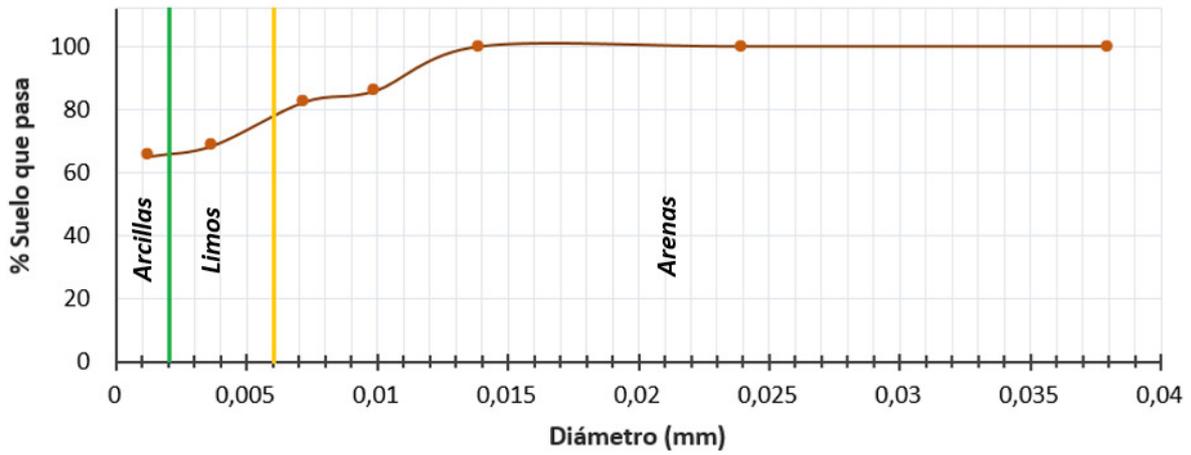


Figura 14. Gráfico de distribución de tamaño para partículas finas

2.3 Análisis 3: DETERMINACIÓN TAMAÑO DE PARTÍCULAS

Objetivo:

Determinar el porcentaje de los diferentes tamaños de partículas gruesas contenidas en el suelo, obteniendo así una distribución clara de los componentes de la muestra.

Materiales:

Los materiales empleados son:

- Báscula
- Set de tamices
- Horno
- Agitador
- Bandeja

Procedimiento:

En primer lugar, dividimos la muestra en dos partes iguales con la ayuda de la báscula. Se toma una de las partes, se anota el peso y se pone a remojo durante 5 minutos. Después se lava bien sobre un tamiz de 0,075 mm hasta que las partículas más finas dejen de pasar. Las partículas con un tamaño inferior a 0,075 mm se desechan.

A continuación, se introduce la muestra húmeda en el horno para proceder a su secado durante 12 h. El secado se realiza a una temperatura no superior a 40 °C.



Figura 15. A) Muestra húmeda en el horno. B) Muestra seca tras 12 h

Fuente: Propia

Tras las 12 horas de secado, se extrae la muestra, se pesa y se anota el resultado. Gracias al lavado se consigue obtener una muestra disgregada, que facilitará mucho más el tamizado de la misma. Con la muestra completamente seca, se procede a tamizar por diferentes medidas de tamices con la ayuda de un agitador durante 5 minutos.

El procedimiento de tamizado consiste en colocar los tamices unos sobre otros formando una torre, de forma que en la base quede el tamiz de menor diámetro (0,00 mm) y en la parte superior el tamiz de mayor diámetro (4,75 mm). Luego se coloca la torre de tamices sobre el agitador y se tira la muestra de tierra sobre el tamiz colocado en la parte superior, de tal manera que a medida que la muestra va pasando por los tamices aquéllas partículas superiores al tamaño del tamiz quedan retenidas mientras que las otras continúan pasando hasta ser retenidas por el tamiz que sea inferior a su tamaño de grano.



Figura 16. Afework Limenh colocando la muestra de suelo sobre la torre de tamices. Bajo los tamices se encuentra el agitador.

Fuente: Propia

Para poder identificar qué proporción de suelo se ha quedado retenido en cada tamiz, tras los 5 minutos de tamizado se procede a pesar la masa de suelo retenida en cada uno.

Resultados:

Así pues, los datos obtenidos son los siguientes:

- Masa antes de lavado: 229,2 gr
- Masa después de lavado: 58,6 gr

En la tabla inferior se muestra el peso retenido de la muestra, aunque para ello, en primer lugar se pesó cada tamiz sin muestra para poder calcular el peso retenido mediante la diferencia. También se presenta el % de suelo retenido, % acumulativo retenido y % de muestra pasada.

Talla del tamiz (mm)	Peso tamiz	Peso tamiz + muestra	Peso retenido	% retenido	% acumulativo retenido	% muestra pasada
4,75	736,3	736,3	0	0	0	100
2	717,4	718,5	1,1	1,8	1,8	98,2
1,18	611,9	612,7	0,8	1,36	3,16	96,84
0,6	604,3	609,5	5,2	8,87	12,03	87,97
0,425	380,8	387,8	7	11,94	23,97	76,03
0,3	583,2	589,7	6,5	11,09	35,06	64,94
0,15	577,7	598,1	20,4	34,81	69,87	30,13
0,075	555,5	571,3	15,8	26,96	96,83	3,17
0,00	407,1	408,9	1,8	3,07	100	0

Tabla 2. Distribución de tamaño para partículas gruesas.

Distribución de tamaño para partículas gruesas

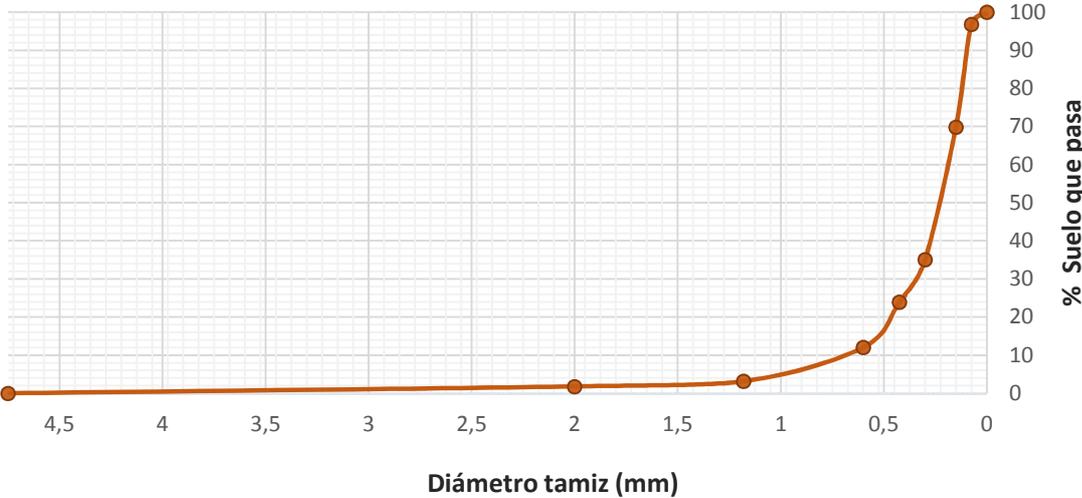


Figura 17. Gráfico de distribución de tamaño para partículas gruesas.

3. TABLAS

Tabla 3. Densidad relativa del agua.

S. No.	Temperature (°C)	Relative density	S. No.	Temperature (°C)	Relative density
1	4	1.000000	22	25	0.997074
2	5	0.999992	23	26	0.996813
3	6	0.999968	24	27	0.996542
4	7	0.999930	25	28	0.996262
5	8	0.999876	26	29	0.995974
6	9	0.999809	27	30	0.995676
7	10	0.999728	28	31	0.995369
8	11	0.999633	29	32	0.995054
9	12	0.999525	30	33	0.994731
10	13	0.999404	31	34	0.994399
11	14	0.999271	32	35	0.994059
12	15	0.999127	33	36	0.993712
13	16	0.998970	34	37	0.993357
14	17	0.998802	35	38	0.992994
15	18	0.998623	36	39	0.992623
16	19	0.998433	37	40	0.992246
17	20	0.998232	38	41	0.99186
18	21	0.998021	39	42	0.99147
19	22	0.997799	40	43	0.99107
20	23	0.997567	41	44	0.99066
21	24	0.997326	42	45	0.99024

Tabla 4. Valores de la profundidad efectiva basados en la lectura del hidrómetro corregida.

Hydrometer 151H		Hydrometer 152H			
Actual Hydrometer Reading	Effective Depth, L (cm)	Actual Hydrometer Reading	Effective Depth, L (cm)	Actual Hydrometer Reading	Effective Depth, L (cm)
1.000	16.3	0	16.3	31	11.2
1.001	16.0	1	16.1	32	11.1
1.002	15.8	2	16.0	33	10.9
1.003	15.5	3	15.8	34	10.7
1.004	15.2	4	15.6	35	10.6
1.005	15.0	5	15.5	36	10.4
1.006	14.7	6	15.3	37	10.2
1.007	14.4	7	15.2	38	10.1
1.008	14.2	8	15.0	39	9.9
1.009	13.9	9	14.8	40	9.7
1.010	13.7	10	14.7	41	9.6
1.011	13.4	11	14.5	42	9.4
1.012	13.1	12	14.3	43	9.2
1.013	12.9	13	14.2	44	9.1
1.014	12.6	14	14.0	45	8.9
1.015	12.3	15	13.8	46	8.8
1.016	12.1	16	13.7	47	8.6
1.017	11.8	17	13.5	48	8.4
1.018	11.5	18	13.3	49	8.3
1.019	11.3	19	13.2	50	8.1
1.020	11.0	20	13.0	51	7.9
1.021	10.7	21	12.9	52	7.8
1.022	10.5	22	12.7	53	7.6
1.023	10.2	23	12.5	54	7.4
1.024	10.0	24	12.4	55	7.3
1.025	9.7	25	12.2	56	7.1
1.026	9.4	26	12.0	57	7.0
1.027	9.2	27	11.9	58	6.8
1.028	8.9	28	11.7	59	6.6
1.029	8.6	29	11.5	60	6.5
1.030	8.4	30	11.4		
1.031	8.1				
1.032	7.8				
1.033	7.6				
1.034	7.3				
1.035	7.0				
1.036	6.8				
1.037	6.5				
1.038	6.2				
1.039	5.9				

Tabla 5. Valores de K en función de la gravedad específica y la temperatura, para el cálculo de diámetro de partículas.

Temperature °C	Specific Gravity of Soil Particles								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.0394	0.01374	0.01356
17	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01269	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

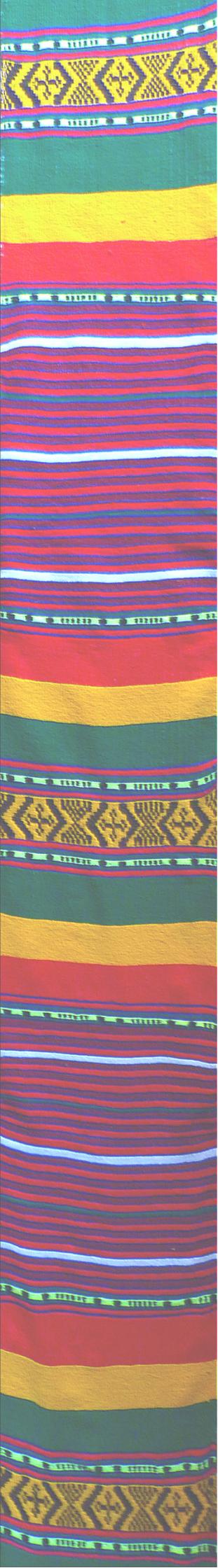
4. BIBLIOGRAFÍA

ETHIOPIAN ATA (Agricultural Transformation Agency), (2013). "Status of soil resources in Ethiopia and priorities for sustainable management", en *GSP for Eastern and Southern Africa*.

http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/docs/South_east_partnership/Ethiopia.pdf (26/01/2016)

GEBRE, E. "An overview of horticultural crops with emphasis on vegetables production in Ethiopia".

<http://www.tutaabsoluta.com/pdf/Tuta-Gebra-Ethiopia-presentation.pdf>
(26/01/2016)



ANEXO IV

SITUACIÓN DE LA AGRICULTURA EN ETIOPÍA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. SITUACIÓN DE LA AGRICULTURA EN LA REGIÓN DE AMHARA.....	8
3. IMPORTANCIA DE LOS CULTIVOS “CASHCROP” Y EL RIEGO A GOTEO PARA LAS FAMILIAS RURALES	11
4. MODELO DE CUESTIONARIO	14
5. BIBLIOGRAFÍA	16

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura a pequeña escala (pequeños agricultores) es el sector más importante de la economía etíope. Más del 80% de la población etíope vive en áreas rurales y se dedica a la agricultura y al ganado, siendo su principal fuente de ingresos. El crecimiento económico etíope está basado en la agricultura, hecho que se demuestra conociendo que el sector agrícola representa el 45% del PIB, casi el 90% de las exportaciones y genera el 85% de empleo (MoFED y MoARD, 2010). Sin embargo, la seguridad alimentaria continúa siendo un reto a alcanzar, y la pobreza y el hambre siguen siendo problemas comunes que el gobierno debe abordar. Tanto organizaciones africanas como etíopes han desarrollado planes de actuación para intentar mitigar estos problemas. Uno de ellos fue el Plan de Crecimiento y Transformación (2010/11-2014/15) desarrollado por el Gobierno etíope, en el que se fijaban una serie de objetivos para mejorar el desarrollo económico del país, que repercutían a diversos sectores, entre ellos al sector agrícola para el que se postulaban cuatro pilares de actuación fundamentales propuestos por Comprehensive Africa Agriculture Development Program (CAADP Compact) de acuerdo con Rural Development Policy and Strategy (RDPS) y Plan for Accelerated and Sustained Development to End Poverty (PASDEP). Los cuatro pilares de actuación son (MoFED y MoARD, 2010):

- Mejorar el uso y manejo de los recursos naturales
- Mejorar las infraestructuras rurales, el acceso al mercado y el comercio rural
- Aumentar la seguridad alimentaria y mejorar la gestión del riesgo de desastres
- Mejorar la investigación en agricultura y ampliar el sistema

Como se ha mencionado en el párrafo anterior predominan los pequeños agricultores con una superficie media de tierra cultivada por familia de 1 a 1,5 hectáreas. Sin embargo, el propietario de esta tierra es el Estado. Los agricultores para poder cultivar tienen que solicitar parcelas de tierra al Gobierno con motivos que verifiquen cual va a ser el uso de las mismas. Si este se las concede, los agricultores obtienen un certificado, que les da permiso a utilizarla, pero para ello tienen que pagar una pequeña cantidad de dinero anual.

La agricultura en Etiopía es principalmente de subsistencia y depende totalmente de la lluvia. Es por esto por lo que la mayoría de los cultivos que crecen en el país son alimentos consumidos en la dieta etíope, ya sea para consumo en fresco o para la elaboración de otro producto, como es el caso del Teff, principal cultivo del país con diferencia. Con este se elabora *injera*, producto consumido a diario en todas las comidas, que es una especie de pan de sabor un tanto amargo y visualmente tiene aspecto de crep, pero de un color marrón grisáceo.

La agricultura en Etiopía pretende garantizar la soberanía alimentaria, haciendo accesibles alimentos nutritivos, culturalmente adecuados, producidos de forma sostenible y



Figura 1. *Injera* con diferentes comidas típicas
Fuente: Propia

ecológica, dando prioridad a los mercados locales y otorgando el poder a los campesinos y a la agricultura familiar (SELINGUÉ, N., 2007).

Los cultivos en Etiopía podrían dividirse en ocho grupos: cereales, legumbres, semillas oleaginosas, hortalizas, cultivos bulbosos/tubérculos, cultivo de frutales, cultivos estimulantes y caña de azúcar.

Los cereales, las legumbres y las semillas oleaginosas forman el grupo de cultivos de grano que no solo constituyen el mayor grupo de cultivos plantado en el país, sino que también contribuye de forma importante en los beneficios económicos de Etiopía.

Según el sondeo realizado por la Agencia Central de Estadística de Etiopía en 2013/2014 la superficie de tierra destinada al cultivo de grano fue de 12.407.473,46 hectáreas, de los cuales casi un 80% está dedicado al cultivo de cereales, siendo el Teff, con un 24,31% de la superficie el cultivo principal, seguido del maíz (16,08%), sorgo (13,52%) y trigo (12,94%). Respecto a la producción, los cereales son el grupo de cultivos de granos que más toneladas genera, suponiendo el 85,81% de la producción total de cultivos de grano, siendo el maíz el cultivo más productivo con un 25,82%, seguido del Teff (17,57%), trigo (15,6%) y sorgo (15,22%).



Figura 2. Izquierda: Planta de Teff. Derecha: Semillas de Teff

Fuentes: WORLD-CROPS y PATEL

Las legumbres como judías, guisante, garbanzos, lentejas, etc. cubren el 14,04% de la superficie dedicada a cultivos de grano, con una producción de alrededor del 11% de la total que generan los cultivos de grano.

Las semillas oleaginosas como lino, cacahuete, sésamo, cártamo, colza, etc. constituyen el 6,58% de la superficie destinada a cultivo de grano y supone un 2,83% del total de la producción de grano nacional.

Sin embargo, el principal problema de la agricultura en Etiopía es el bajo rendimiento de los cultivos, que afecta gravemente a los cultivos de grano, ya que sus producciones por hectárea son muy bajas. Así, por ejemplo la producción media del Teff es de 1,5 t/ha, del maíz 3,2 t/ha o la de cebada de 1,9 t/ha. Esta es una de las razones por las que los cultivos de grano no generan realmente grandes beneficios económicos para los agricultores a nivel individual.

Los cultivos llamados “cashcrop”, se designan con este nombre porque su productividad por hectárea es mucho mayor que los cultivos de grano, y por tanto generan mayores ganancias para los agricultores. Los cultivos considerados “cashcrop” son principalmente las hortalizas (tomate, patata, cebolla, zanahoria, col, pimiento verde y pimiento rojo), las frutas (mango, aguacate, plátano y cítricos), el café y el Chat, que se cultiva por sus hojas y es conocido como la droga etíope.



Figura 3. Planta de Chat

Fuente: Propia

El cultivo de hortalizas cubre el 1,18% del área total cultivada en Etiopía, siendo los pimientos rojos y la col etíope los mayores cultivos hortícolas cubriendo el 67,53% y 21,37% respectivamente, de la superficie destinada al cultivo de hortalizas. La producción de hortalizas contribuye con un 2% del total de la producción de cultivos en el país, siendo los pimientos rojos y la col etíope los que mayores cantidades generan, alrededor del 35,16% y 49,85% respectivamente.

Por otro lado, los cultivos bulbosos, como las cebollas o ajos son indispensables para mejorar el sabor de las comidas y los tubérculos como las patatas o batatas, son de los cultivos más consumidos en todo el país. Estos están bien valorados económicamente y es una de las razones por las que los agricultores los siembran. De los cultivos de raíz, la patata es la que más superficie cubre con 66.745,61 hectáreas, suponiendo un 31,8% del total de la superficie dedicada a los cultivos de raíz, seguida de las batatas con una superficie de 53.369,19 hectáreas, suponiendo un 25,43% de la superficie destinada a los cultivos de raíz. No obstante, el cultivo que más producción genera es la batata con 33,4 t/ha, suponiendo el 42,84% de la producción total de cultivos de raíz.

En cuanto a los cultivos de frutales, existen muchos menos agricultores que se dedican a ello, y solo 71.507,13 hectáreas de tierra se emplean para el cultivo de frutales, de las cuales el 55,57% de la superficie la cubre el cultivo de plátanos, seguido con un 14,47% de la superficie para el cultivo de mango. De las más de 499.183,7 toneladas de fruta que se producen en el país, los plátanos suponen el 68,11%, las papayas el 6,33%, los mangos el 14,46% y las naranjas el 6,25% del total de la fruta generada.

Por otro lado, el cultivo de café y Chat, llamados cultivos estimulantes, son principalmente cultivados por los grandes beneficios económicos que aportan. Por este motivo, la superficie destinada a estos cultivos está aumentando y actualmente supone el 1,58% para el Chat y 3,84% para el café del total de la superficie cultivada en Etiopía.

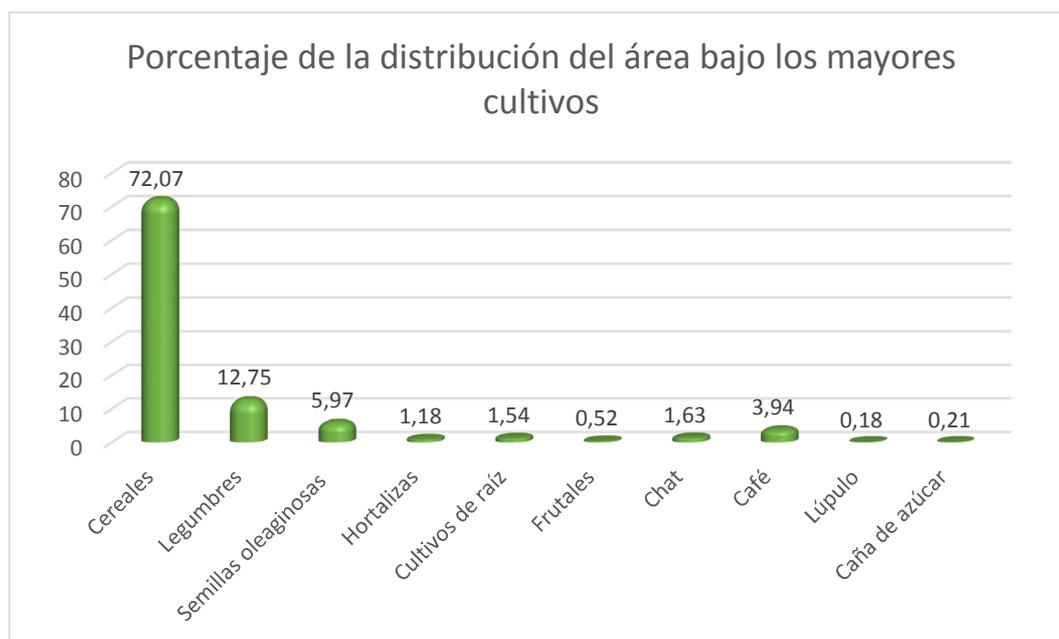


Figura 4. Porcentaje de la distribución del área de Etiopía bajo los mayores cultivos.

Fuente: THE FEDERAL DEMOCRATIC REPUBLIC OF ETHIOPIA CENTRAL STATISTICAL AGENCY, (2014)

No obstante, aunque la producción de los cultivos “cashcrop” sea mayor, si se compara con otros países, sigue siendo muy baja, por ejemplo el café en Etiopía genera 0,9 t/ha mientras que en Vietnam genera 2 t/ha¹.

Las razones por las que el rendimiento de los cultivos continúa siendo tan bajo son diversas. En primer lugar, uno de los factores clave es la falta de conocimiento por parte de los agricultores. Ellos continúan empleando semillas tradicionales, susceptibles a enfermedades y métodos de cultivo tradicionales que han aprendido generación tras generación, lo cual conduce a una degradación importante del suelo, ya sea tanto por la erosión generada sobre el mismo como por pérdida de fertilidad, pues la mayoría de los agricultores no abona ni utiliza fertilizante alguno, y si lo hacen únicamente se pueden encontrar en el mercado los fertilizantes urea y DAP que aporta nitrógeno y fósforo, con lo cual la deficiencias en otros elementos esenciales da lugar al empobrecimiento del suelo. Además, no solo no poseen el conocimiento adecuado los agricultores, sino que los técnicos de las tiendas especializadas en productos fitosanitarios tampoco reciben una formación adecuada, pues a menudo los productos que ofrecen a los agricultores para solucionar problemas en sus cosechas no son los correctos, o están caducados y el efecto es mínimo.

La falta de infraestructuras, incluso el transporte favorece la baja productividad, pues las carreteras no son adecuadas, siendo frecuentes los golpes, y los camiones no están acondicionados con cámaras frías para mantener durante más tiempo la fruta, perdiéndose así calidad en la fruta y en consecuencia disminuyendo la cantidad final de producto que llega al mercado.

¹ Datos ofrecidos por el Doctor Melkamu Alemayehu (Research & Community Service Coordinator in College of Agriculture & Environmental Sciences in Bahir Dar University)

Por último, la falta de centros de investigación que permitan experimentar con nuevas variedades y nuevos métodos de cultivo acusa todavía más esta situación.

Las mayoría de las semillas que emplean los agricultores son variedades locales suministradas por cooperativas agrícolas, compañías privadas, por ONGs o por el Gobierno. Otras semillas, como las de zanahoria, col, lechuga o tomate a menudo proceden de Holanda o Italia. Estas provenientes de otros países por lo general son puras y no híbridas, no obstante, sí que se cultivan semillas híbridas aunque en un porcentaje muy bajo. Las semillas de pimiento rojo, ajo, patata y cebolla se producen íntegramente en Etiopía, sin embargo las de tomate algunas son importadas y otras no. En ocasiones las ONGs reproducen las semillas y luego las distribuyen a los agricultores.

El método de riego utilizado por los agricultores es el riego por inundación. Únicamente se utiliza riego por goteo en los invernaderos dedicados a la producción de flores. Respecto a las técnicas de preparación de la tierra, se sigue haciendo con animales, normalmente vacas (Figura 5).



Figura 5. Agricultores etíopes labrando la tierra.

Fuente: Propia

El sector agrícola y específicamente el subsector de la horticultura en Etiopía tiene gran importancia. Las hortalizas favorecen la autosuficiencia alimentaria; aportan vitaminas, minerales, antioxidantes y fibra esenciales para la nutrición de las personas; se aprovechan productos crudos para otras industrias agroalimentarias, como el tomate para hacer salsas, frutas para hacer mermeladas, vino, etc.; gracias a la exportación también son fuente de moneda extranjera; se generan muchos puestos de trabajo, sobre todo en los cultivos intensivos; permite el mejor manejo de los recursos naturales.

No obstante, todavía existen muchos retos importantes a alcanzar como es la escasez de superficie de tierra dedicada a la agricultura, la falta de variedades de calidad mejoradas, combatir las principales enfermedades y plagas que arrasan los cultivos, la falta de personal cualificado, mejora de la capacidad de investigación, el adecuado manejo de los cultivos que englobe tanto el riego como la calidad y la seguridad alimentaria, el correcto tratamiento post cosecha del campo y sobre todo el bajo rendimiento de los cultivos.

Aunque muy poco a poco, afortunadamente ya se están desarrollando proyectos que promueven buenas prácticas agronómicas, entre las que se incluyen una adecuada densidad de plantación o el deshierbe oportuno, y la producción de semillas mejoradas que incrementan los rendimientos. Un ejemplo de ello es la semilla de frijol mejorada desarrollada por el Instituto Etíope de Investigación Agrícola (EIAR, siglas en inglés) junto con el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), bajo la Alianza Panafricana de la Investigación del Frijol (PABRA, siglas en inglés) antes de 2004. A pesar de tener una muy buena aceptación por los agricultores, su propagación fue lenta pues tuvieron que resolverse los problemas existentes de acceso a las semillas y sustituir las prácticas deficientes en el manejo de cultivos por buenas prácticas que permitiesen alcanzar rendimientos elevados.

Entre 2004 y 2012, el área de tierra utilizada para la siembra de frijol en Etiopía aumentó de 181.600 a 330.000 hectáreas, y la producción de frijol se incrementó en más del triple hasta 387.000 toneladas por año. Asimismo, los rendimientos promedio aumentaron de 0.62 toneladas por hectárea a 1.5 toneladas; los agricultores elevaron sus ingresos (más del séxtuple) de US\$120 por tonelada de frijol a \$750; y el número de personas empleadas para clasificar, procesar y transportar frijol se cuadruplicó a 12.000. – (MALYON, 2013)

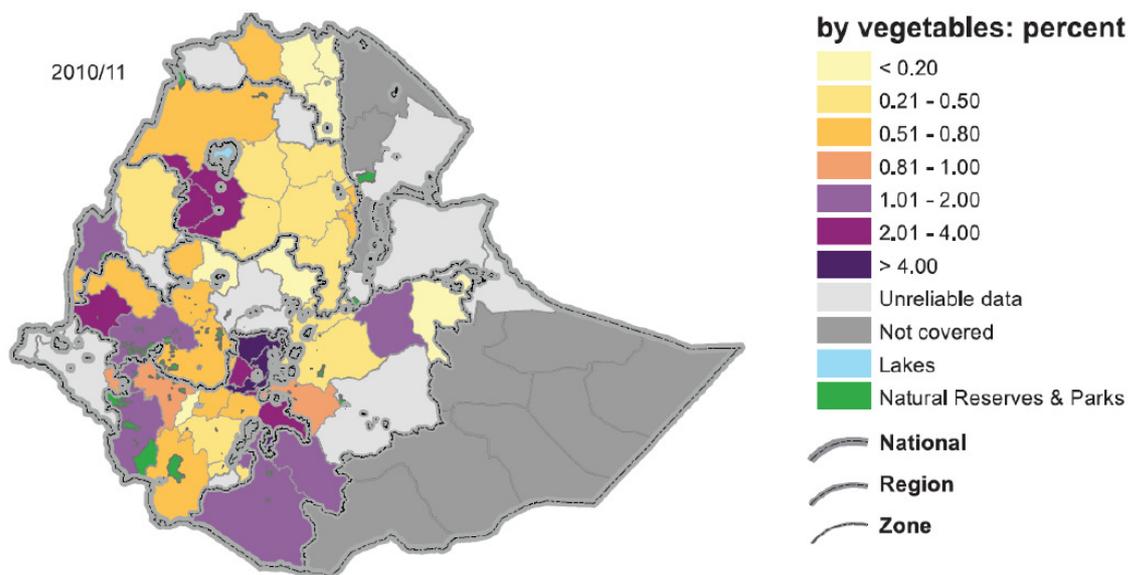


Figura 6. Porcentaje de superficie de tierra cubierta por cultivos de vegetales en Etiopía

Fuente: GEBRE

2. SITUACIÓN DE LA AGRICULTURA EN LA REGIÓN DE AMHARA

Dado que el presente trabajo se centra en los cultivos de tomate, cebolla y patata en *woreda* Fogera, perteneciente a la Región de Amhara, a continuación se van a especificar más datos sobre estos cultivos en dicha zona.

La Región de Amhara es la principal región productora de Teff del país, con más de 1 millón de hectáreas destinadas a este cultivo. También destaca por el cultivo de maíz, sésamo, y garbanzo, siendo la *woreda* Fogera una de las más productoras de este último (WARNER et al.,

2015). Además, en la Región de Amhara se cultivan cerca del 40% de las hortalizas que se producen en Etiopía. El calendario de producción de las hortalizas está determinado principalmente por la estación de lluvias. Así pues, se le llaman cultivos de estación *Belg* a aquellos cultivos de temporada cuya cosecha se realice entre los meses de marzo y agosto, y cultivos de estación *Meher* a aquellos cosechados entre los meses de septiembre y febrero.

➤ **Patata**

La patata es el tubérculo más cultivado en la Región de Amhara, con un total de 23.084,63 hectáreas, y una producción media en esta región de 15,29 t/ha según el sondeo realizado por la Agencia Central de Estadística de Etiopía en 2013/2014. La producción en esta región es superior a la que hay a nivel nacional que es de aproximadamente 11,7 t/ha. Sin embargo, si la comparamos con la producción en otros países africanos como Egipto, cuya producción media en 2007 fue de 24,8 t/ha; Sudáfrica con una producción media de 34 t/ha; Argelia con 21,1 t/ha o Marruecos con 24,2 t/ha (FAO, 2008), la producción en Etiopía es considerablemente inferior. Este bajo rendimiento del cultivo se le atribuye principalmente a las condiciones del suelo (Anexo III suelos) que continúan empeorando debido en parte a las técnicas agrícolas obsoletas que todavía se emplean, y a la falta de apoyo por parte del Gobierno central para mitigar esta situación. Es importante que se tomen medidas frente a esta situación, ya que cerca del 70% de las tierras agrícolas dedicadas al cultivo de patata se encuentran por encima de 1.500 metros sobre el nivel del mar y como en las montañas vive casi el 90% de la población, la patata podría contribuir a la seguridad alimentaria del país (FAO, 2008).

La patata a diferencia del tomate y la cebolla, además del ciclo de cultivo de noviembre a marzo, también suele hacer un segundo ciclo de junio a septiembre, en estación de lluvias, porque no es tan susceptible a enfermedades como la cebolla o el tomate. Las principales enfermedades que atacan a la patata y generan importantes pérdidas en producción son el Mildiu provocado por *Phytophthora infestans* que genera una muerte rápida de brotes, hojas e incluso puede afectar al tubérculo y la Podredumbre bacteriana que produce necrosis en las hojas y genera daños en los tubérculos haciéndolos incomedibles.



Figura 7. Izquierda: Planta de patata infectada por *Phytophthora infestans*. Derecha: Patata dañada por la podredumbre bacteriana.

Fuentes: BASQUE (2014) y PALACIO-BIELSA y CAMBRA (2003)

A pesar de que los agricultores cultiven patata porque es un “cashcrop”, y por tanto los beneficios económicos son mayores, el precio que se paga al agricultor por kilo de patata es de

2 ETB² equivalente a 0,09 euros, y en el mercado cuesta entre 5 y 7 ETB el kilo que es aproximadamente entre 0,22 y 0,30 euros.

➤ **Cebolla**

De las 24.375,7 hectáreas de cebolla cultivadas en Etiopía, 9.818 se cultivan en la región de Amhara, lo que supone el 40% del cultivo a nivel nacional. Además, la producción en esta región es de 11,6 t/ha, superando la media nacional en más de dos puntos. El ciclo de cultivo de la cebolla en esta región comienza a partir de octubre y finaliza en febrero. En época de lluvias no suelen plantar cebollas puesto que son muy susceptibles a las enfermedades. Principalmente les afecta la Mancha púrpura causada por *Alternaria porri* que provoca lesiones foliares en el follaje que interrumpen el proceso de fotosíntesis y disminuye el rendimiento de los bulbos, en consecuencia la producción se reduce todavía más no siendo rentable su cultivo.

El precio por kilo de cebolla al agricultor se lo pagan entre 4 y 6 ETB que en euros equivale a entre 0,17 y 0,26 euros, mientras que en el mercado varía bastante en función de la época del año, así pues durante la estación seca, la cebolla es producto de temporada y el precio oscila alrededor de 10 y 12 ETB, es decir, entre 0,43 y 0,52 euros el kilo mientras que en la estación de lluvias el precio aumenta sobre los 20 y 25 ETB el kilo, que es alrededor de 0,86 y 1,08 euros el kilo, viéndose altamente incrementado el precio debido al transporte del producto de otras zonas.

➤ **Tomate**

El tomate es el cuarto vegetal en importancia en la Región de Amhara, destinándose 682,63 hectáreas a su cultivo, lo que supone únicamente el 9,4% de la superficie de esta hortaliza a nivel nacional. Respecto a la producción de tomates en la Región de Amhara, la Agencia de Estadística Central de Etiopía consideró no especificar estos datos ya que el coeficiente de variación era demasiado elevado y por tanto no era suficientemente fiable, no obstante, sí que los ha considerado en la estimación de la producción nacional.

Tomando como base el promedio nacional, la producción de tomates en Etiopía es de 5,4 t/ha, y aunque por lo general el rendimiento de este cultivo en muchos países africanos es bastante bajo, sin embargo existen otros como Egipto donde en 2013 el rendimiento medio fue de 40,07 t/ha, en Kenia de 20,49 t/ha, o en Rwanda de 19,63 t/ha (FAOSTAT, 2013). Estas grandes diferencias en el rendimiento se deben básicamente en el uso de variedades antiguas y técnicas de cultivo inapropiadas que favorecen la propagación de enfermedades.

El calendario de producción del tomate en la Región de Amhara comienza a partir de noviembre, cuando las temperaturas nocturnas ascienden, pues en los meses anteriores puede haber pérdidas de cosecha por temperaturas bajas y problemas de heladas. En época de lluvias no se cultiva tomate, pues la técnica de cultivo empleada es tomate en suelo y no entutorado, por tanto los problemas de enfermedades, sobre todo Mildiu provocado por *Phytophthora infestans* y la Podredumbre se ven todavía más incrementados. Una de las técnicas que se podría emplear para disminuir el ataque de hongos y bacterias y como consecuencia aumentar el

² El Birr es la moneda oficial de Etiopía (1 € ≈ 23,19 ETB en diciembre de 2015) y se representa con las siglas ETB (Ethiopian Birr)

rendimiento, es el cultivo de tomate entutorado. Sin embargo, a pesar de que se trata de una técnica sencilla, existen algunos problemas para llevarla a cabo, uno de ellos es que no disponen de variedades adaptadas a esta técnica de cultivo, pues utilizan variedades tradicionales, por otro lado, la falta de conocimiento por parte de los agricultores impide que puedan desarrollar de manera autónoma dicha técnica, y finalmente el poco interés que muestran las instituciones para mejorar esta situación.

Respecto a los precios por kilo de tomate también varía en función de la estación en la que se produzca. Por lo general al agricultor se le paga el kilo de tomate entre 5 y 6 ETB, que supone entre 0,22 y 0,26 euros, mientras que en el mercado el precio varía entre los 10 y 15 ETB que son entre 0,43 y 0,65 euros.

3. IMPORTANCIA DE LOS CULTIVOS “CASHCROP” Y EL RIEGO A GOTEO PARA LAS FAMILIAS RURALES

Aprovechando la estancia en el propio país, pensé que una buena forma de tener contacto directo con los agricultores de *woreda* Fogera era realizándoles cuestionarios, de manera que me permitiera conocer realmente como trabajan, cuáles son sus debilidades y sus necesidades.

Como el presente proyecto se centra en el uso de riego a goteo para los cultivos de tomate, patata y cebolla, los tres incluidos en el grupo de cultivos “cashcrop”, durante la estancia en el país confeccioné un pequeño cuestionario que permitiese analizar la importancia de estos cultivos, el riego a goteo y los beneficios tanto sociales como económicos que generan en las familias rurales.

El cuestionario lo confeccioné en Inglés, sin embargo, la población de las áreas rurales únicamente habla el Amárico (idioma oficial del país), de modo que mi supervisor, Solomon, actuó de traductor (Figura 8).

Al final del documento se adjunta el modelo de cuestionario que se pasó a los agricultores.



Figura 8. Fotografías en *woreda* Fogera realizando cuestionarios a los agricultores

Fuente: Propia

Según sus repuestas, parece ser que necesitan dedicar parte del terreno que poseen al cultivo de “cashcrop” porque es de los que más beneficios económicos extraen. Aproximadamente de la superficie de tierra que cultivan dedican un cuarto de hectárea a cultivar estas especies. En este cuarto de hectárea pueden sembrar dos cosechas anuales y su rendimiento y beneficios dependerá en gran medida la alimentación de toda la familia durante ese año. Es decir, que si la estación de lluvias se retrasa, no llueve suficiente ese año o un fenómeno ambiental o de cualquier otro rango destroza su cosecha, probablemente estas familias rurales no tendrán apenas nada que llevarse a la boca, produciendo hambrunas y muertes.

Si por fortuna las dos cosechas se desarrollan correctamente, podrán obtener mayores beneficios económicos que destinan principalmente a la compra de ropa, ganado, mejorar sus viviendas, herramientas para el campo, libros de ejercicios para los niños o bolígrafos para que los niños puedan escribir en la escuela.

El beneficio neto anual económico que obtienen por el cultivo de dos cosechas de “cashcrop”, realizando rotación, en un cuarto de hectárea, es alrededor de 16.000 ETB, un equivalente a 689,88 €. Una familia de agricultores etíopes suele plantar un cuarto de hectárea con “cashcrop” y a parte otra pequeña superficie con algún cereal, legumbre, etc. que aunque su valor y rendimiento es muy bajo, por lo menos se aseguran alimento para la familia. De modo que con 689 € junto con los pequeños ingresos procedentes de los otros cultivos, deben de alimentarse familias de cinco, seis, siete o más miembros durante todo un año y en caso de tener excedente, entonces lo utilizan para el resto de prioridades. Resulta obvio que con estos ingresos es imposible que la calidad de vida de las familias rurales mejore.

Por otro lado, las semillas por lo general las compran en los mercados locales. Sobre el precio de estas hubo un pequeño debate entre los agricultores presentes, yo no podía entender sobre lo que discutían pero a mi parecer no tenían muy claro cuánto les costaban cierta cantidad de material vegetal, finalmente nos dijeron que los tomates los compran en plantones y cada 10 kilos de plantones, les cuesta 500 ETB \approx 21,56 €; las patatas las compran por tazas de semillas, y cada taza de semillas cuesta 100 ETB \approx 4,31 € y por último las cebollas las compran también en plantones, costando cada kilo de plantones 500 ETB \approx 21,56 €.

Después les pregunté sobre la técnica de riego por goteo. Una de las tareas más costosas y pesadas para los agricultores etíopes es el riego, pues les quita mucho tiempo para realizar otras actividades, por esa razón quise saber qué opinaban de implantar riego a goteo. En un primer momento, pensé que quizás no conocían esta técnica de riego, pero en cuanto Solomon les lanzó la pregunta en Amárico me percaté de que sí que sabían más o menos como funcionaba. Sin dudar, los agricultores respondieron que estaban seguros de que el riego a goteo podía incrementar los rendimientos de los cultivos y por supuesto, reducir el tiempo de trabajo. Además, al reducir el tiempo de trabajo dedicado al riego, que actualmente es mucho, pues no existen acequias en



Figura 9. Acequia en woreda Fogera
Fuente: Propia

condiciones, sino que son surcos heterogéneos en el terreno sobre los que llega el agua muy poco a poco (Figura 9), podrían emplear ese tiempo en realizar tareas de mantenimiento de los cultivos, que repercutiría en el buen desarrollo de las plantas y consecuentemente aumentaría su productividad o también podrían dedicar más tiempo a cuidar del ganado, en vez de que lo hiciesen sus hijos y así estos podrían acudir a la escuela y formarse.

En definitiva, una buena alternativa para los agricultores sería que el Gobierno difundiera el uso de riego por goteo mediante ayudas económicas para implantar esos sistemas, pues creo que a día de hoy es una opción que realmente podría mejorar la calidad de vida de las familias rurales. Implantar riego por goteo supondría:

BENEFICIOS DEL RIEGO POR GOTEO	
Ventajas	Consecuencias
Reducir el tiempo de trabajo	Dedicar tiempo a otras actividades (mantenimiento de cultivos, cuidar al ganado y los niños pueden ir a la escuela)
Reducir esfuerzo físico	Menores problemas de salud
Aumento rendimiento cultivos	Mayor producción
Mayor producción	Mayores beneficios económicos
Mayores beneficios económicos	Comprar ropa, ganado, herramientas, bolígrafos y mejorar la vivienda. ↕ MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA

Tabla 1. Beneficios del riego por goteo



Figura 10. Fotografías en *woreda* Fogera con los agricultores y el director de la escuela.
Fuente: Propia

4. MODELO DE CUESTIONARIO

QUESTIONNAIRE: Importance of “cashcrop” and drip irrigation to rural families.

1. Which crops are considerate “cashcrops” for you?

 Tomatoes	 Potatoes	 Onions	 Coffee	Others
---	---	---	--	--------

2. Why do you want to cultivate “cashcrops”?

They have more economic value.

Because of their alimentary benefits.

Because they generate high productions.

3. How many harvestings of “cashcrop” do you do per year?

1 2 3 4 5

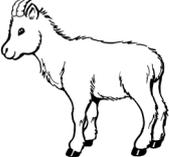
4. Does annual alimentation of your family depending of a good harvesting of “cashcrop”?

Yes, completely.

Yes, largely.

No

5. Which benefits can you allow with good harvested “cashcrop”, which it would be impossible with other crops?

 Buy more food	 Buy clothes	 Buy books for school
 Buy livestock	 Improve the house	Others

6. Which surface of land do you use to “cashcrop”?

7. Who supply seeds?

- Own seeds
- Company specialised
- Government

8. Which is the price of seeds?

Depending on production you pay a %:	When you buy seeds you pay: _____ ETB per kg of tomato seeds _____ ETB per kg of potato seeds _____ ETB per kg of onion seeds _____ ETB per kg of _____ seeds
--------------------------------------	---

9. Which annual profit supposed “cashcrop”?

10. Do you think drip irrigation can increase the productivity?

Yes/No

11. Do you think drip irrigation can reduce the time ok work?

Yes/No

In case you say yes, which other works you will do in this time?

- Cooking
- Sew
- Crop maintenance
- Spend time with the family
- Take care of livestock
- Repair something
- Other: _____

12. Which crop do you cultivate after a “cashcrop”?

5. BIBLIOGRAFÍA

- BASQUE, (2014). “Constatan por primera vez la presencia en Álava de los dos tipos de reproducción del hongo causante del mildiu de la patata” en *Sinc*.
<http://www.agenciasinc.es/Noticias/Constatan-por-primera-vez-la-presencia-en-Alava-de-los-dos-tipos-de-reproduccion-del-hongo-causante-del-mildiu-de-la-patata>
(08/01/2016)
- FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations), (2008). “Año Internacional de la Papa”
<http://www.fao.org/potato-2008/es/mundo/africa.html> (08/01/2016)
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division), (2013).
<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E> (09/01/2016)
- GEBRE, E., (no pone el año). “An overview of horticultural crops with emphasis on vegetables production in Ethiopia” presentado en el taller *Tuta absoluta: Meeting the challenge of the tomato leafminer*.
<http://www.tutaabsoluta.com/pdf/Tuta-Gebra-Ethiopia-presentation.pdf>
(26/01/2016)
- MALYON, S., (2013). “Transformación agrícola en Etiopía y otras regiones” en *CIAT Blog*
<http://www.ciatnews.cgiar.org/es/2013/05/02/transformacion-agricola-en-etiofia-y-otras-regiones/> (08/01/2016)
- MoFED (Ministry of Finance and Economic Development) con MoARD (Ministry of Agriculture and Rural Development), (2010). Agricultural Growth Program (GAFSP GAP Financing). Federal Democratic Republic of Ethiopia.
http://gafspfunds.org/sites/gafspfunds.org/files/Documents/Ethiopia_1_of_6_Proposal_for_GAFSP_Financing.pdf (06/02/2016)
- PALACIO-BIELSA, A. y CAMBRA, M., (2003). “Enfermedades bacterianas de la patata: situación en Aragón”
http://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/955/1/10532-100_28.pdf
(09/01/2016)
- PATEL, A., (2014). “Teff Benefits: 8 healthy reasons to add Teff to your diet” en *The Huffington Post Canada*.
http://www.huffingtonpost.ca/2014/02/06/teff-benefits- n_4740219.html
(08/01/2016)
- SELINGUÉ, N., (2007). “Soberanía Alimentaria”.
<http://www.soberaniaalimentaria.tv/> (20/01/2016)
- THE FEDERAL DEMOCRATIC REPUBLIC OF ETHIOPIA CENTRAL STATISTICAL AGENCY, (2014). “Area and production of major crops” Vol. 1 en *Statistical bulletin* 532.

WARNER, J., STEHULAK, T. y KASA, L., (2015). “Woreda-Level Crop Production Rankings in Ethiopia: A Pooled Data Approach” por *International Food Policy Research Institute (IFPRI)*
http://reap.ifpri.info/files/2015/02/Ethiopian-ATA-Intervention-Woreda-Prioritization-Feb_final.pdf (07/02/2016)

WORLD-CROPS (2013). “Teff”,
<http://world-crops.com/tef/> (08/01/2016)



ANEXO V

NECESIDADES HÍDRICAS

ÍNDICE

1. MÉTODO DE CÁLCULO	3
2. REQUERIMIENTOS HÍDRICOS	4
2.1 EFICIENCIA DE APLICACIÓN.....	5
2.2 CÁLCULO REQUERIMIENTOS HÍDRICOS MEDIANTE CROPWAT.....	7
3. BIBLIOGRAFÍA	11

1. MÉTODO DE CÁLCULO

Para dimensionar un sistema de riego, el primer paso es calcular las necesidades hídricas de los cultivos, es decir, la cantidad de agua que hay que aportar diariamente a las plantas para mantenerlas en plena producción.

Existen diversas posibilidades para su cálculo, sin embargo, en este caso se ha seleccionado el programa CROPWAT desarrollado por la FAO y de uso libre, para evaluar las necesidades hídricas. Este programa calcula los requerimientos hídricos en función de los datos climáticos de la zona, datos pluviométricos, el tipo de suelo y el tipo de plantas, proponiendo así, un modelo que tiene en cuenta la variabilidad de estos parámetros en el tiempo, con lo cual conduce a unos valores bastante realistas.

Los datos climáticos y pluviométricos se pueden obtener de la base de datos CLIMWAT también desarrollada por la FAO. En la base de datos CLIMWAT se encuentran datos reales de temperaturas máximas y mínimas, evapotranspiraciones y precipitaciones de multitud de países y dentro de cada uno existen diferentes estaciones climáticas, que permiten obtener datos más precisos y reales. Por otro lado, para seleccionar el tipo de suelo y tipo de planta, CROPWAT cuenta con una propia base de datos, en la que se pueden seleccionar un tipo de suelo específico y un determinado cultivo. No obstante, el programa cuenta con la desventaja de que solo permite diferenciar los tomates del resto de hortalizas. Además, para su cálculo también es necesario introducir una fecha de siembra, de este modo CROPWAT es capaz de determinar cuándo será mayor el coeficiente de cultivo.

Para este proyecto se han seleccionado datos de CLIMWAT correspondientes al país de Etiopía, concretamente de la estación llamada Addis Zemen, puesto que es la más cercana a la zona de estudio (Figura 1).

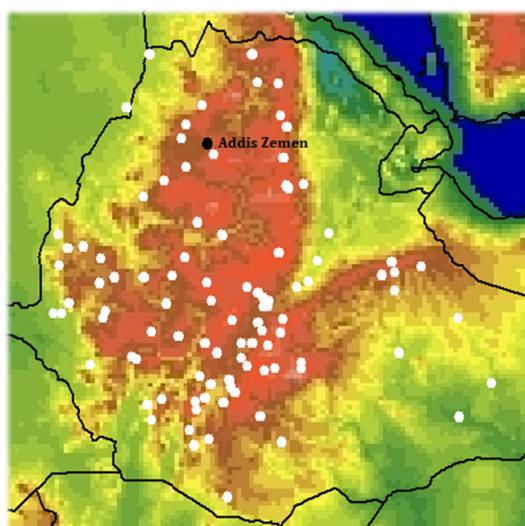


Figura 1. Localización estación climática en Etiopía.
Fuente: base de datos CLIMWAT de la FAO

2. REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

Los requerimientos hídricos se han calculado independientemente para cada cultivo (tomate, patata y cebolla), y después se plantean los requerimientos hídricos totales para una parcela de 200 m² que son las dimensiones que tiene la parcela de estudio.

El programa CROPWAT calcula los requerimientos hídricos netos de cultivo decadiarios y diarios en función de los factores climáticos, pluviométricos, fecha de siembra y coeficientes de cultivo en cada época de desarrollo de la planta, por lo tanto, los datos que se obtienen son bastantes precisos.

Los datos seleccionados para el cálculo de las necesidades hídricas comunes en los tres cultivos han sido: datos climáticos y pluviométricos procedente de CLIMWAT de la estación Addis Zemen en Etiopía; el tipo de suelo arcilloso, ya que se realizaron diversos análisis de suelo con muestras de la parcela en la que se iba a cultivar y se obtuvo que se trataba de un suelo arcilloso (ver Anexo III) y la fecha de siembra el 1 de octubre. Respecto a los cultivos, para tomate se seleccionó el cultivo de tomate, para patata el cultivo de patata y para cebolla, puesto que CROPWAT no distingue entre más hortalizas, se eligió la opción pequeños vegetales.

A continuación, se muestra un gráfico en el que se representa las evapotranspiraciones de referencia y las precipitaciones mensuales en la estación de Addis Zemen.

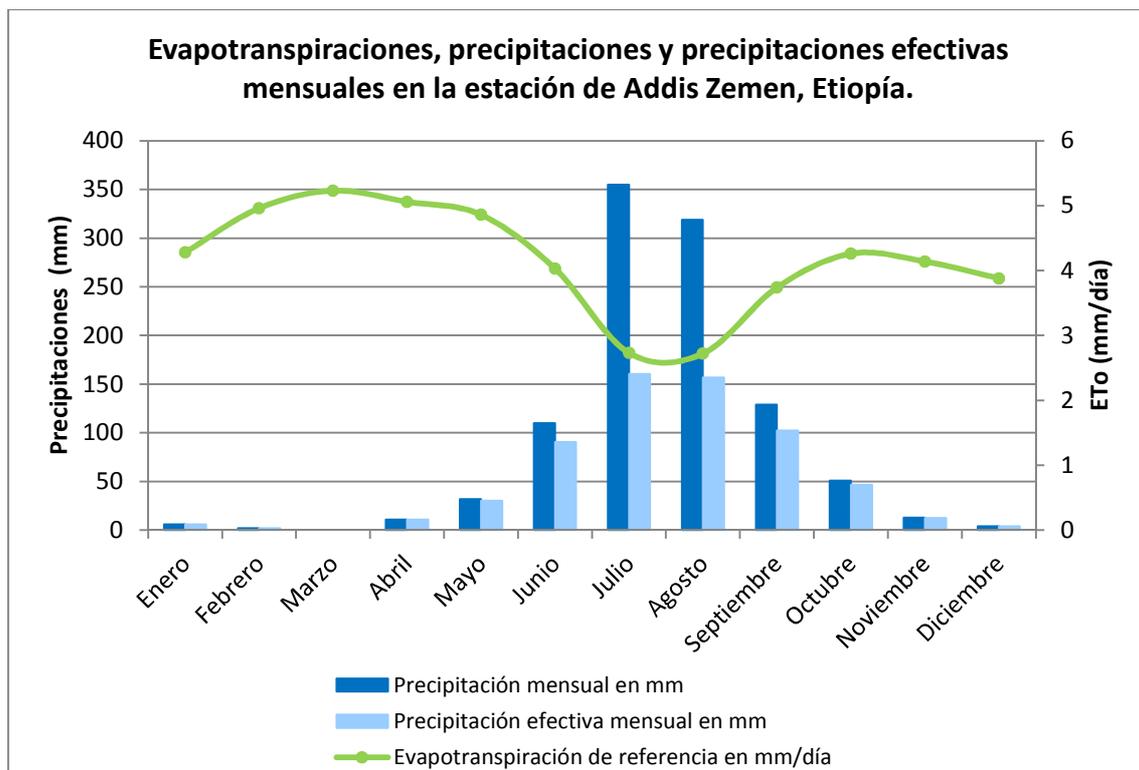


Figura 2. Evapotranspiraciones y precipitaciones mensuales en Addis Zemen, Etiopía.

Fuente: base de datos CLIMWAT de la FAO

Se observa que en la época en la que se va a cultivar es cuando comienza la estación seca, por tanto las precipitaciones disminuyen, la evapotranspiración aumenta y como consecuencia las necesidades hídricas del cultivo se incrementarán.

2.1 EFICIENCIA DE APLICACIÓN

El dato que ofrece CROPWAT son las necesidades de riego netas (NR_n) calculadas por el balance entre los aportes y pérdidas de agua. Sin embargo, el suministro de agua de riego tiene una eficiencia (E_a) que nunca alcanza el 100%, puesto que en la aplicación del mismo pueden presentarse pérdidas debidas al aumento del riego para compensar aguas salinas, pérdidas por percolación profunda o pérdidas por compensación de deficiencia en la distribución homogénea del agua. Este hecho da lugar a que el agua que se debe aportar en el riego, es decir, las necesidades de riego totales (NR_t) siempre sea mayor que las NR_n .

En este apartado se va a calcular cual es la eficiencia de riego en la parcela de estudio. Así pues, la relación entre las tres variables es la siguiente:

$$NR_t = \frac{NR_n}{E_a}$$

Ecuación 1

NR_t = Necesidades de riego totales (volumen de agua a aplicar) [mm]

NR_n = Necesidades de riego netas [mm]

E_a = Eficiencia de aplicación [-]

Los parámetros de los cuales depende la E_a son:

$$E_a = R_p \cdot FL \cdot CU$$

Ecuación 2

R_p = Relación de percolación [-]

FL = Factor de Lavado [-]

CU = Coeficiente de Uniformidad [-]

A continuación, se va a calcular cada uno de estos parámetros en caso de que sea necesario.

- **Relación de percolación.**

Este parámetro estima la cantidad de agua que se infiltra en el suelo por debajo de la profundidad de las raíces. Depende de tres factores:

- Tipo de suelo: arcilloso (ver Anexo III)
- Clima: poco húmedo (ver Anexo II), por tanto se tomará como árido.
- Profundidad de las raíces: entre 75 y 150 cm (ROSELLÓ, (2014a, 2014b y 2014c))

En base a estos datos, la Tabla 1 ofrece el valor de R_p :

Valores de R_p

CLIMAS ARIDOS				
Profundidad radicular (cm)	Textura			
	Gravosa	Gruesa	Media	Fina
< 75 cm	0.85	0.90	0.95	0.95
75 a 150	0.90	0.90	0.95	0.95
> 150	0.95	0.95	1.00 ¹	1.00
CLIMAS HUMEDOS				
Profundidad radicular (cm)	Textura			
	Gravosa	Gruesa	Media	Fina
< 75	0.65	0.75	0.85	0.90
75 a 150	0.75	0.80	0.90	0.95
> 150	0.85	0.90	0.95	1.00

→ R_p = 0,95

Tabla 1. Valores de R_p
Fuente: HERNÁNDEZ (2014)

- **Factor de lavado.**

Durante la estancia en Etiopía se preguntó a Solomon Fikadu (Coordinador de BDU del proyecto experimental en la parcela de *woreda* Fogera), si en esa zona existían problemas de acumulación de sales y la respuesta fue negativa. Por esta razón, el factor de lavado no se va a tener en cuenta para el cálculo de la eficacia.

- **Coefficiente de Uniformidad.**

A la hora de diseñar el riego se debe imponer la uniformidad del mismo, evitando de esta manera que zonas de la parcela queden sin regar. Por este motivo, deberán adoptarse altos CU que implican instalaciones precisas.

Valores de CU recomendados

Emisores	Pendiente suelo	CU	
		Clima árido	Clima húmedo
Espaciados más de 4 m. en cultivos permanentes	Uniforme (< 2%)	0.90-0.95	0.80-0.85
	Uniforme (> 2%) u ondulada	0.85-0.90	0.75-0.80
Espaciados menos de 2.5 m. en cultivos permanentes o semipermanentes	Uniforme (< 2%)	0.85-0.90	0.75-0.80
	Uniforme (> 2%) u ondulada	0.80-0.90	0.70-0.80
Tuberías porosas en cultivos anuales	Uniforme (< 2%)	0.80-0.90	0.70-0.80
	Uniforme (> 2%) u ondulada	0.70-0.85	0.65-0.75

Tabla 2. Valores de CU recomendados
Fuente: HERNÁNDEZ (2014)

En base a la tabla de valores de CU recomendados y conociendo las características del sistema de riego (emisores espaciados menos de 2,5 m, no existe pendiente y clima árido) el CU recomendado está entre 0,85-0,90. Para asegurar los requerimientos hídricos de los cultivos se toma el valor más restrictivo:

CU = 0,90

Por tanto, con R_p y CU calculados, y aplicando la Ecuación 2, se obtiene que la E_a para la parcela en *woreda* Fogera es de:

E_a = 0,855

2.2 CÁLCULO REQUERIMIENTOS HÍDRICOS MEDIANTE CROPWAT

- **TOMATE:** Los requerimientos hídricos se han estimado suponiendo que la fecha de plantación es el 1 de octubre y por tanto CROPWAT estima que la fecha de recolección es el 22 de febrero. Así pues, los datos obtenidos son los siguientes:

Estación ET₀: ADDIS-ZEMEN

Cultivo: Tomate

Est. de lluvia: ADDIS-ZEMEN

Fecha de siembra: 01/10

Mes	Década	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Oct	1	Inic	0.60	2.45	24.5	21.1	3.4
Oct	2	Inic	0.60	2.55	25.5	14.6	10.9
Oct	3	Des	0.60	2.54	27.9	11.2	16.7
Nov	1	Des	0.69	2.89	28.9	7.3	21.7
Nov	2	Des	0.84	3.46	34.6	3.1	31.5
Nov	3	Des	0.98	3.96	39.6	2.5	37.1
Dic	1	Med	1.12	4.44	44.4	2.0	42.4
Dic	2	Med	1.17	4.54	45.4	0.9	44.5
Dic	3	Med	1.17	4.70	51.7	1.2	50.4
Ene	1	Med	1.17	4.85	48.5	1.9	46.6
Ene	2	Med	1.17	5.00	50.0	2.2	47.8
Ene	3	Fin	1.13	5.10	56.1	1.7	54.4
Feb	1	Fin	1.02	4.81	48.1	1.1	47.0
Feb	2	Fin	0.90	4.48	44.8	0.6	44.2
Feb	3	Fin	0.84	4.22	8.4	0.1	8.4
					578.6	71.5	507.2

Tabla 3. Requerimientos de riego en la zona Addis Zemen, para cultivo de tomate.

Fuente: CROPWAT

Puesto que la década crítica es entre el 20 y 30 de enero, se debe diseñar el sistema de riego para estos días.

Datos actuales:

- Depósito con capacidad para 200 L.
- Sabiendo que 54,4 mm de agua necesitan las plantas cada diez días → se requieren 5,44 mm de agua cada día.

Ya que la parcela tiene 200 m² → NR_n = 5,44 mm x 200 m² = 1.088 mm de agua para regar toda la parcela durante los días críticos.

Por tanto, aplicando la Ecuación 1, se obtiene las NR_t:

$$NR_{t \text{ tomate}} = 1.272,5 \text{ mm}$$

Sabiendo que $1\text{mm}=1\text{ L/m}^2 \rightarrow$ Se requerirían **1.272,5 L** para regar durante los días críticos.

- **PATATA:** Los requerimientos hídricos se han estimado suponiendo que la fecha de siembra es el 1 de octubre, por tanto CROPWAT estima que la de cosecha es el 7 de febrero. De esta forma los datos obtenidos son los siguientes:

Estación ET ₀ : ADDIS-ZEMEN	Cultivo: Patata
Est. de lluvia: ADDIS-ZEMEN	Fecha de siembra: 01/10

Mes	Década	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Oct	1	Inic	0.50	2.04	20.4	21.1	0.0
Oct	2	Inic	0.50	2.13	21.3	14.6	6.7
Oct	3	Des	0.54	2.29	25.2	11.2	14.0
Nov	1	Des	0.76	3.16	31.6	7.3	24.3
Nov	2	Des	0.98	4.04	40.4	3.1	37.3
Nov	3	Med	1.15	4.67	46.7	2.5	44.2
Dic	1	Med	1.17	4.62	46.2	2.0	44.2
Dic	2	Med	1.17	4.52	45.2	0.9	44.4
Dic	3	Med	1.17	4.68	51.4	1.2	50.2
Ene	1	Fin	1.16	4.81	48.1	1.9	46.2
Ene	2	Fin	1.07	4.57	45.7	2.2	43.5
Ene	3	Fin	0.93	4.20	46.2	1.7	44.5
Feb	1	Fin	0.82	3.87	27.1	0.7	26.0
					495.6	70.5	425.5

Tabla 4. Requerimientos de riego en la zona Addis Zemen, para cultivo de patata.

Fuente: CROPWAT

En este caso, la década crítica es entre el 20 y 31 de diciembre, por lo tanto para el caso de la patata se debe diseñar el sistema de riego para estos días.

Datos actuales:

- Depósito con capacidad para 200 L
- Sabiendo que 50,2 mm de agua necesitan las plantas cada diez días \rightarrow se requieren 5,02 mm de agua al día.

Puesto que la parcela tiene $200\text{ m}^2 \rightarrow NR_n = 5,02\text{ mm} \times 200\text{ m}^2 = 1.004\text{ mm}$ de agua se requieren durante esos día para regar toda la parcela.

Aplicando la Ecuación 1, se obtiene las NR_t:

NR_t patata = 1.174,3 mm

Sabiendo que $1\text{mm}=1\text{L}/\text{m}^2 \rightarrow$ Se necesitarían **1.174,3 L** para regar durante los días críticos.

- **CEBOLLA:** Los requerimientos hídricos se han estimado suponiendo que la época de siembra es el día 1 de octubre, con lo cual CROPWAT estima que la fecha de recolección es el día 3 de enero. Los datos obtenidos son los siguientes:

Estación ET ₀ : ADDIS-ZEMEN	Cultivo: Pequeños vegetales
Est. De lluvias: ADDIS-ZEMEN	Fecha de siembra: 01/10

Mes	Década	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Oct	1	Inic	0.70	2.86	28.6	21.1	7.5
Oct	2	Inic	0.70	2.98	29.8	14.6	15.2
Oct	3	Des	0.77	3.26	35.8	11.2	24.7
Nov	1	Des	0.90	3.75	37.5	7.3	30.3
Nov	2	Med	1.02	4.21	42.1	3.1	39.0
Nov	3	Med	1.06	4.30	43.0	2.5	40.5
Dic	1	Med	1.06	4.21	42.1	2.0	40.1
Dic	2	Fin	1.06	4.11	41.1	0.9	40.3
Dic	3	Fin	1.02	4.07	44.8	1.2	43.6
Ene	1	Fin	0.97	4.02	12.1	0.6	11.1
					357.0	64.4	292.2

Tabla 5. Requerimientos de riego en la zona Addis Zemen, para cultivo de cebolla.

Fuente: CROPWAT

Para el cultivo de cebolla, la década crítica es entre el 20 y 30 de diciembre, con lo cual el sistema de riego debe diseñarse para estos días.

Datos actuales:

- Depósito con capacidad para 200 L
- Sabiendo que 43,6 mm de agua necesitan las plantas en diez días \rightarrow se requieren 4,36 mm de agua al día.

Puesto que la parcela tiene $200 \text{ m}^2 \rightarrow \text{NR}_n = 4,36 \text{ mm} \times 200 \text{ m}^2 = 872 \text{ mm}$ de agua se requieren para regar la parcela durante los días críticos.

Así pues, aplicando la Ecuación 1, se obtiene las NR_t:

NR_t cebolla = 1.019,9 mm
--

Sabiendo que $1\text{mm}=1\text{L}/\text{m}^2 \rightarrow$ Serán necesarios **1.019,9 L** para regar durante los días de máxima demanda.

A continuación se muestra una gráfica comparativa entre la diferencia de necesidades hídricas en los cultivos.

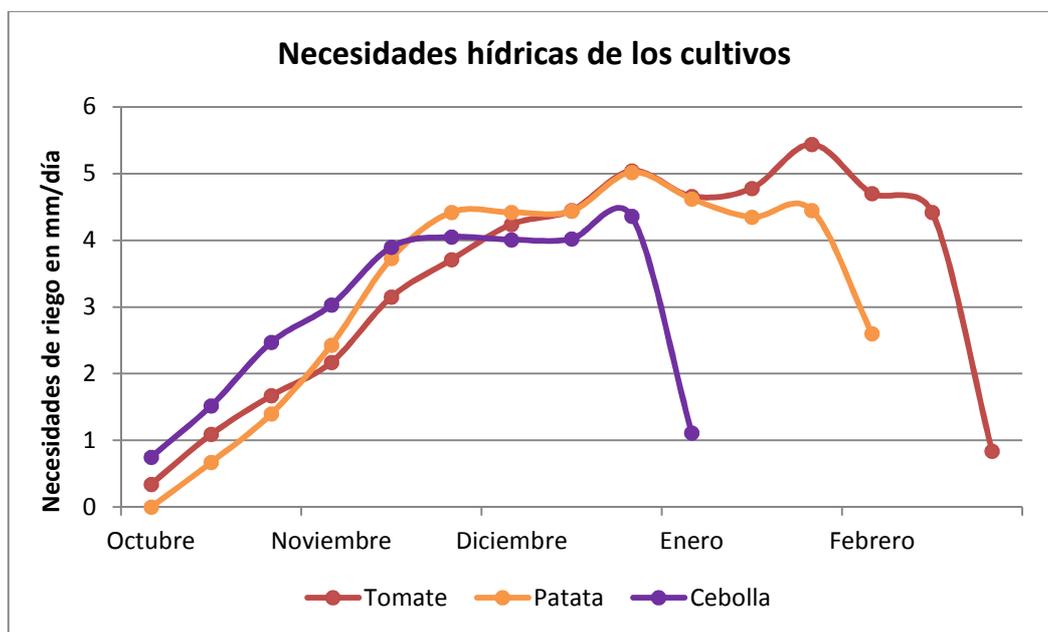


Figura 4. Necesidades hídricas de los cultivos.

Fuente: base de datos CLIMWAT de la FAO

3. BIBLIOGRAFÍA

HERNÁNDEZ, L., (2014). "Tema 2: Equipo en los sistemas de riego a presión. Parte 2" en *Aula Virtual UJI, Apuntes AG1034-Riegos y Drenajes (2014/2015)* (15/01/2016)

ROSELLÓ, S., (2014a). "Patata" en *AulaVirtual UJI, Apuntes AG1028-Horticultura (2013/2014)* (21/01/2016)

ROSELLÓ, S., (2014b). "Tomate" en *AulaVirtual UJI, Apuntes AG1028-Horticultura (2013/2014)* (21/01/2016)

ROSELLÓ, S., (2014c). "Cebolla" en *AulaVirtual UJI, Apuntes AG1028-Horticultura (2013/2014)* (21/01/2016)



ANEXO VI

CÁLCULOS

ÍNDICE

1. CÁLCULOS SISTEMA RIEGO POR GOTEO ACTUAL.....	3
1.1 INTRODUCCIÓN	3
1.2 ECUACIÓN Y CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR	6
1.3 PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE RIEGO	8
1.4 PRESIÓN Y CAUDAL QUE LLEGA A LA INSTALACIÓN.....	11
1.5 TIEMPO DE RIEGO.....	16
2. ALTERNATIVAS PROPUESTAS.....	17
2.1 ALTERNATIVA 1: BOMBEO MANUAL CON CANALIZACIÓN EXTERNA DEL AGUA HASTA EL DEPÓSITO SITUADO EN LA PARCELA	18
2.2 ALTERNATIVA 2: BOMBEO MANUAL CON DEPÓSITO AL LADO DEL POZO Y CANALIZACIÓN DEL AGUA POR UNA TUBERÍA SUBTERRÁNEA HASTA LA RED DE RIEGO	25
2.3 ALTERNATIVA 3: BOMBEO FOTOVOLTAICO CON DEPÓSITO DE ALMACENAJE AL LADO DEL POZO Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA A TRAVÉS DE UNA TUBERÍA SUBTERRÁNEA HASTA LA RED DE RIEGO	30
3. BIBLIOGRAFÍA	41

1. CÁLCULOS SISTEMA RIEGO POR GOTEO ACTUAL

1.1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, el sistema de riego implantado posee ciertas debilidades que dan lugar a un funcionamiento poco óptimo del mismo. Además, dado que se trata de un proyecto piloto que Bahir Dar University ha puesto en marcha hace poco, todavía faltan datos esenciales sin definir, entre los que destacan:

- Los requerimientos de riego para cada cultivo.
- Los marcos de plantación adecuados a cada cultivo.
- Plantar un único cultivo en la parcela de 200 m², para evitar interferencias entre especies, pero no se ha elegido cual. Los que no se planten en dicha parcela se plantarán en otras de dimensiones parecidas por la misma zona o no muy lejanas y también se les aplicará riego por goteo.

Debido a la necesidad de responder a los puntos mencionados surgió la idea de este proyecto, cuyo fin no es únicamente trabajar estos aspectos, sino que tras conocer de primera mano el diseño del sistema de riego que Bahir Dar University ha implantado, se pensó que además, se podrían proponer nuevas alternativas que redujeran el tiempo y esfuerzo dedicado a tal tarea con perspectivas al futuro.

Así pues, en el Anexo VI se pretende mostrar por un lado, la ineficiencia del sistema de riego actual sustentado en cálculos, y por otro, las alternativas propuestas junto con los marcos de plantación más adecuados para cada cultivo, calculados en el Anexo VII. El cálculo y resultado de los requerimientos hídricos se presenta en el Anexo V.

Para entrar en materia, en primer lugar deben conocerse las características y el diseño de la actual instalación. A continuación se enumeran los datos de los que se parte:

Datos generales

- Especies a regar: patata, tomate y cebolla
- Tipo de suelo: arcilloso
- Sistema de riego: goteo
- Marco de plantación:
 - Patata: 0,3 x 0,5 m
 - Tomate: __ x 1 m¹
 - Cebolla: __ x __²
- Separación entre emisores: 0,3 m
- Separación entre laterales: 0,5 o 1 m
- Se coloca una planta por emisor
- Longitud tubería principal: 2 m
- Longitud tubería terciaria: 9,5 m

¹ Para el cultivo de tomate habían definido separación entre filas pero no la separación entre plantas.

² Para el cultivo de cebolla no tienen definido un marco de plantación.

- Longitud de los laterales: 20 m
- Diámetro exterior tubería principal y terciaria: 32 mm
- Diámetro interior tubería principal y terciaria: 29 mm
- Diámetro exterior laterales: 16 mm
- Diámetro interior laterales: 13,8 mm
- Caudal del emisor: 2,8 l/h
- Superficie 200 m²
- Pendiente: no existe
- Altura del depósito máxima cuando éste está lleno: 1,9 m
- Altura del depósito mínima cuando éste está vacío: 1 m
- Altura de la parcela: se toma como cero
- Temperatura: 25 °C
- Disponibilidad de agua: total

Lo que se pretende es plantar una parcela de 200 m² con un único cultivo, con el objetivo de evitar interferencias en el desarrollo normal de cada especie, pudiendo observar en un futuro con mayor fiabilidad los resultados en producción (fin de Bahir Dar University). Sin embargo, puesto que no se conocía todavía el cultivo que sembrarían en dicha parcela, en el presente proyecto se realizan los cálculos (marcos de plantación y requerimientos de riego) para las tres especies de plantas ya que, aquéllos que no se cultiven en dicha parcela, se plantarán en otras de dimensiones parecidas cercana a esta zona, con lo cual los datos son totalmente aprovechables.

La distribución y dimensiones de las tuberías y laterales en la parcela es la que se muestra en la Figura1:

En la Figura 2 se aprecia de forma clara el esquema del actual sistema de riego.

Además, en el plano 1 del Anexo VIII, se presenta la distribución y componentes a escala.

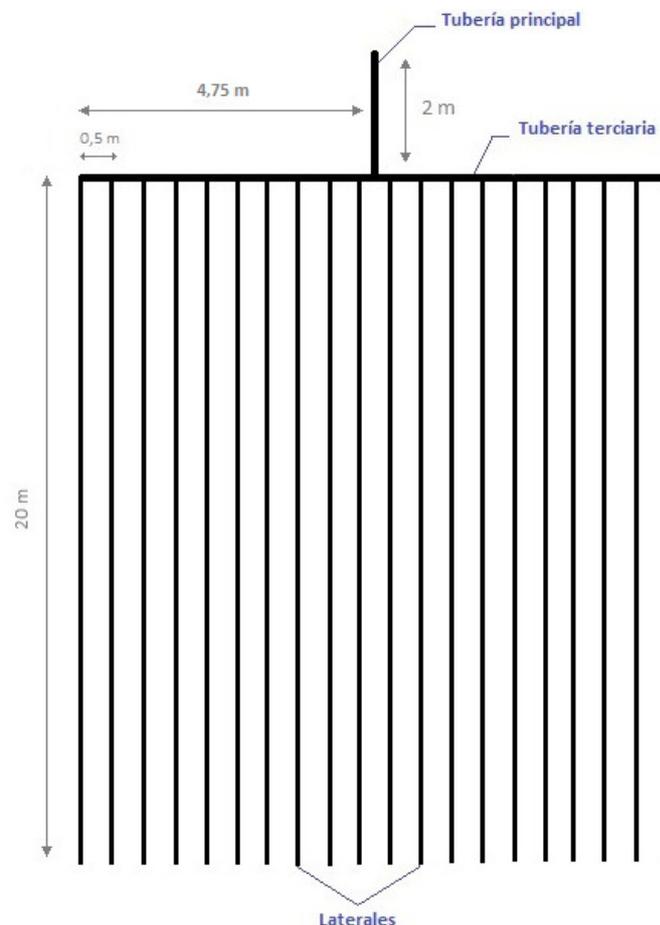


Figura 1. Esquema distribución tuberías y laterales con sus correspondientes medidas.
Fuente: Propia

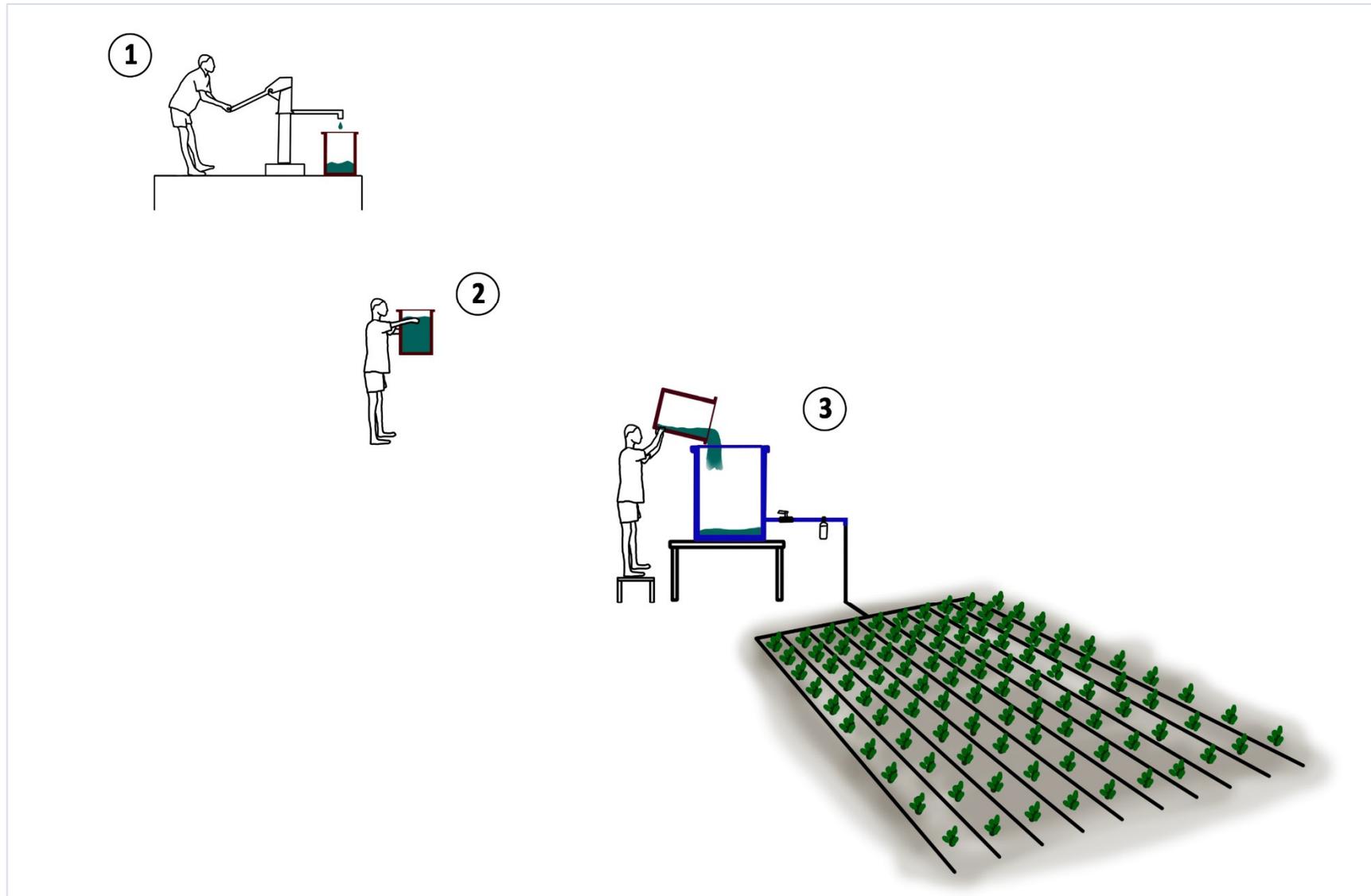


Figura 2. Esquema gráfico del sistema de riego actual. 1) Bombeo manual. 2) Transporte manual. 3) Llenado manual del depósito.

Fuente: Laura Martínez Mifsut

1.2 ECUACIÓN Y CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR

Con el fin de obtener la ecuación y curva característica de los emisores utilizados en la parcela para la que se plantea el proyecto en Etiopía, para poder analizar en base a ella el funcionamiento del actual sistema de riego, y puesto que no fue posible conseguir los catálogos de dichos emisores, se ha tomado como modelo otro de diferente fabricante con características muy similares.

Se ha seleccionado un emisor integrado con idénticas características que los empleados en Etiopía:

- Caudal de 2,8 l/h a 1 bar de presión
- Diámetro exterior lateral de 16 mm
- Diámetro interior lateral de 13,8 mm

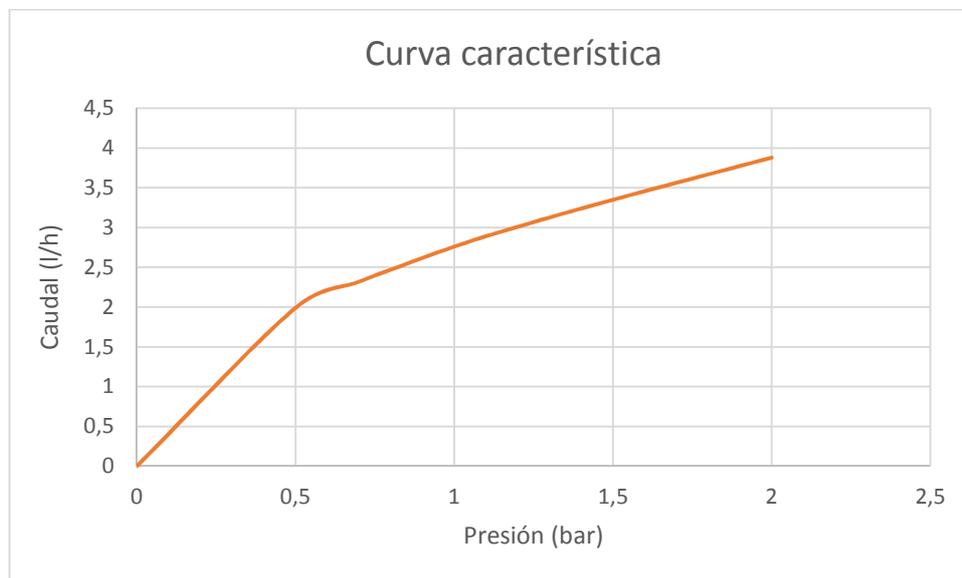


Figura 3. Curva característica del emisor en función de la presión de entrada

Fuente: IRRITEC (2014)

Cálculo ecuación característica del emisor

La ecuación característica de un emisor relaciona el caudal arrojado por el emisor con la presión disponible en el interior de la tubería. Este dato debe proporcionarlo el fabricante, no obstante, en ocasiones el fabricante solo suministra la curva característica.

$$q = K \cdot H^x$$

Ecuación 1

- q = caudal arrojado por el emisor [l/h]
 H = presión relativa en el interior de la tubería [mca]
 K = coeficiente de descarga del emisor
 x = exponente de descarga del emisor

Cuando la ecuación característica del emisor no es proporcionada por el fabricante ésta puede calcularse a partir de dos puntos de la curva que relacionen el caudal y la presión mediante las siguientes fórmulas:

$$x = \frac{\ln \frac{q_1}{q_2}}{\ln \frac{H_1}{H_2}} \qquad K = \frac{q_1}{H_1^x} = \frac{q_2}{H_2^x}$$

Ecuación 2

Ecuación 3

A continuación se calcula la ecuación característica del emisor de referencia.

- **Emisor multi-estacional DP Line (IRRITEC, 2014)**

En primer lugar se han seleccionado dos puntos de la curva, y se han identificado sus correspondientes valores q y H .

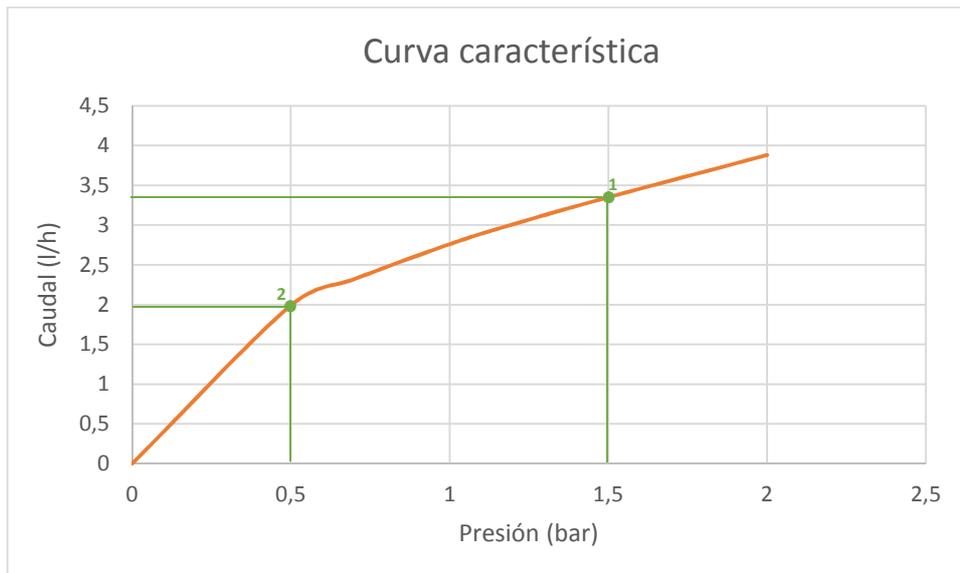


Figura 4. Puntos seleccionados en la curva característica del emisor
Fuente: IRRITEC (2014)

$$\begin{aligned} q_1 &= 3,35 \text{ l/h} & H_1 &= 1,5 \text{ bar} = 15 \text{ mca} \\ q_2 &= 1,99 \text{ l/h} & H_2 &= 0,5 \text{ bar} = 5 \text{ mca} \end{aligned}$$

Después, se han aplicado las Ecuaciones 2 y 3, cuyos valores se han ajustado en litros por hora (l/h) y metros de columna de agua (mca), obteniendo la ecuación característica del emisor:

$$\left. \begin{aligned} x &= 0,47 \\ K &= 0,94 \end{aligned} \right\} \qquad \boxed{q = 0,94 \cdot H^{0,47}}$$

Ecuación 4

1.3 PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE RIEGO

Las pérdidas totales son la suma de, por un lado, las pérdidas continuas, es decir, aquéllas debidas al rozamiento del fluido al moverse por la tubería (proporcionales a la longitud de la tubería recorrida), y por otro, de las pérdidas menores, aquéllas debidas al rozamiento del fluido con elementos del sistema hidráulico (codos, válvulas, emisores, etc.).

$$h_{perdidas} = h_{continuas} + h_{menores}$$

Ecuación 5

Para el cálculo de las pérdidas totales se han empleado el Método del coeficiente mayorante (K_m) y el Método de las longitudes equivalentes (L_e), aplicado uno u otro en función del tramo de tubería del sistema. Además, en la tubería terciaria y en los laterales se debe aplicar el Factor de Christiansen (F) porque son tuberías con consumos intermedios (HERNÁNDEZ, 2014b).

Las pérdidas para cada uno de los métodos se calculan de la siguiente forma:

- **Método del coeficiente mayorante (K_m).** Se asumen las pérdidas menores como un porcentaje de las continuas. Se deberá, por tanto, aplicar un factor $K_m > 1$. Es aconsejable tomar un 20% de pérdidas menores.

$$h_{totales} = h_{continuas} + h_{localizadas} = K_m \cdot C \cdot L \cdot \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}}$$

Ecuación 6

Q = caudal total que circula por la tubería, $Q = n \cdot q$
 D = Diámetro interior de la tubería
 L = longitud total de la tubería
 C = Factor dependiente de la temperatura (25°C)
 K_m = Coeficiente mayorante (1,2)

T (°C)	C	T (°C)	C
5	0.518	35	0.426
10	0.496	40	0.416
15	0.479	45	0.406
20	0.464	50	0.397
25	0.450	55	0.389
30	0.437	60	0.381

Tabla 1. Factor dependiente de la Tª.

Fuente: HERNÁNDEZ (2014b)

- **Método de las longitudes equivalentes (L_e).** Se asumen que los elementos singulares producen unas pérdidas equivalentes a aumentar la tubería una cierta longitud L_e .

$$h_{totales} = h_{continuas} + h_{localizadas} = C \cdot (L + L_e) \cdot \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}}$$

Ecuación 7

Q = caudal total que circula por la tubería, $Q = n \cdot q$
 D = Diámetro interior de la tubería
 L = longitud total de la tubería
 L_e = longitud equivalente de toda la tubería, $L_e = n \cdot l_e$
 C = Factor dependiente de la temperatura (25°C)

- **Factor de Christiansen (F).** Se aplica para calcular las pérdidas continuas cuando se trata de tuberías con consumos intermedios. En este caso se deberá aplicar para la terciaria y los laterales. Al tratarse de tuberías con consumos intermedios y distribución contante se utiliza la siguiente ecuación:

$$F_a = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2 \cdot n} + \frac{\sqrt{m-1}}{6 \cdot n^2}$$

Ecuación 8

n = número de emisores/laterales

F_a = Factor de Christiansen

m = 1,75

Cálculo de las pérdidas por tramos en el sistema de riego

PÉRDIDAS TUBERÍA PRINCIPAL

Se calculan por el Método del coeficiente mayorante, en el que se toman las pérdidas menores como un 20% de las pérdidas continuas. Sabiendo que el caudal teórico que debería salir por los emisores es de 2,8 l/h, con los datos proporcionados en el apartado 1.1, se obtiene que en la parcela se colocan 20 laterales y 67 emisores en cada lateral, y aplicando la Ecuación 6 se obtiene:

$$h_{principal} = 1,2 \cdot 0,450 \cdot 2m \cdot \frac{(2,8 \text{ l/h} \cdot 20 \text{ laterales} \cdot 67 \text{ emisores})^{1,75}}{29^{4,75}}$$

$$h_{principal} = 0,219 \text{ mca}$$

PÉRDIDAS TUBERÍA TERCIARIA

Para el cálculo de las pérdidas en la tubería secundaria, se utiliza el Método del coeficiente mayorante al que hay que añadirle el Factor de Christiansen por ser una tubería con derivaciones. Así pues, la ecuación quedaría de la siguiente manera:

$$h_{totales} = h_{continuas} + h_{localizadas} = F_a \cdot K_m \cdot C \cdot L \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$$

Ecuación 9

Como la red de riego es simétrica y el suministro del agua es desde un punto intermedio, se tendrán en cuenta las pérdidas desde el punto de suministro de agua hacia un extremo, es decir la mitad de la tubería secundaria. De este modo, aplicando la Ecuación 8 se obtiene:

$$F_{a \text{ terciaria}} = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \cdot 10} + \frac{\sqrt{1,75-1}}{6 \cdot 10^2} = 0,415$$

Consultando los datos necesarios en el apartado 1.1 y aplicando la Ecuación 9:

$$h_{terciaria} = 0,415 \cdot 1,2 \cdot 0,450 \cdot 4,75 \text{m} \cdot \frac{(2,8 \text{ l/h} \cdot 10 \text{ laterales} \cdot 67 \text{ emisores})^{1,75}}{29^{4,75}}$$

$$h_{terciaria} = 0,064 \text{ mca}$$

PÉRDIDAS LATERALES

Para la obtención de las pérdidas en los laterales de las tuberías se va a utilizar el Método de la longitud equivalente, porque existe un valor aproximado para el cálculo de las pérdidas que introduce un emisor integrado dentro de un lateral. Además, al tratarse de una tubería con consumos intermedios se le deberá añadir también el Factor de Christiansen. Así pues, la ecuación quedaría de la siguiente forma:

$$h_{totales} = h_{continuas} + h_{localizadas} = F_a \cdot C \cdot (L + L_e) \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$$

Ecuación 10

Aplicando la Ecuación 8 se obtiene F:

$$F_{a \text{ laterales}} = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \cdot 67} + \frac{\sqrt{1,75-1}}{6 \cdot 67^2} = 0,371$$

Para el cálculo de la L_e , se sabe que:

$$L_e = n \cdot l_e$$

Ecuación 11

n = número de emisores en el lateral

l_e = longitud equivalente de un emisor, en metros

En el que para l_e se toma el valor que correspondería a mayores pérdidas, de forma que se garantice el funcionamiento en la peor situación (HERNÁNDEZ, 2014b). Así pues:

$$l_e = 0,23$$

Por tanto, aplicando la Ecuación 10 y consultando los datos pertinentes en el apartado 1.1 las pérdidas en los laterales son:

$$h_{lateral} = 0,371 \cdot 0,450 \cdot (20 + 67 \cdot 0,23) \cdot \frac{(2,8 \text{ l/h} \cdot 67 \text{ emisores})^{1,75}}{13,8^{4,75}}$$

$$h_{lateral} = 0,216 \text{ mca}$$

PÉRDIDAS TOTALES

$$h_{TOTALES} = h_{principal} + h_{terciaria} + h_{lateral}$$

$$h_{TOTALES} = 0,219 + 0,064 + 0,216 = 0,499 \text{ mca}$$

$h_{TOTALES} = 0,499 \text{ mca}$

1.4 PRESIÓN Y CAUDAL QUE LLEGA A LA INSTALACIÓN

En este apartado se va a calcular la presión teórica a la que debería trabajar la instalación para que la distribución de caudales por todos sus emisores fuese de 2,8 l/h, siempre dentro de un rango de variación del 10%. Además, se calcula la presión real a la que llega el agua, de modo que comparando ambos valores se observará la eficacia o no de la instalación.

La presión teórica al inicio del lateral debe ser tal que la presión media en las derivaciones sea la adecuada para que el caudal saliente por cada emisor sea el de diseño, que en este caso es de 2,8 l/h.

La presión necesaria al inicio del lateral o terciaria para una tubería con distribución discreta de caudales es:

$$\frac{P_0}{\gamma} = \frac{\bar{P}}{\gamma} + \beta \cdot h + \alpha \cdot Z$$

Ecuación 12

\bar{P}/γ = Presión media en la tubería considerada [mca]

h = Pérdidas en tubería (lateral o terciaria)

Z = Desnivel de la tubería considerada [m]

α y β = Coeficientes adimensionales ($m = 1.75$)

$$\alpha = 0.50 \quad \beta = \frac{m+1}{m+2}$$

Como queda patente en la Ecuación 12, es imprescindible conocer el desnivel existente a lo largo de la terciaria y del lateral. Dado que la parcela se encuentra en un terreno sin pendiente, el valor de Z será cero.

Para el cálculo de la presión real se emplea la ecuación de Bernoulli.

$$H_A + h_{bomba} = H_B + h_{perdidas}$$

Ecuación 13

Que desglosada queda de la siguiente manera:

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2 \cdot g} + z_A + h_{bomba} = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2 \cdot g} + z_B + h_{perdidas}$$

Ecuación 14

En dicha ecuación, la energía (H) de un fluido depende de la presión (P), de la velocidad (v) y de la cota física (z). No obstante, el término de velocidad suele omitirse ya que es un valor muy pequeño y no repercute en el resultado final.

Además, en este caso puesto que no se dispone de una bomba (h_{bomba}) que impulse el agua en el depósito inicial, también se elimina este parámetro, y la presión en este punto corresponde con la presión atmosférica (1 atm) porque se trata de un depósito abierto, y por tanto no presurizado. Así pues, la ecuación a utilizar se reduce a:

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2 \cdot g} + z_A + h_{bomba} = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2 \cdot g} + z_B + h_{perdidas}$$

$$z_A = \frac{P_B}{\gamma} + z_B + h_{perdidas}$$

Ecuación 15

z_A = Cota del depósito (H_0)

$\frac{P_B}{\gamma}$ = Presión requerida en un punto concreto de la red

z_B = Cota de la parcela respecto del depósito

$h_{perdidas}$ = Pérdidas

En este caso, la diferencia de cota es la que dota al agua de energía para que ésta pueda circular por la red de riego. Este será un dato imprescindible para proceder al cálculo de las presiones en la instalación.

Puesto que H_0 es diferente en función de la capacidad del depósito, se van a calcular las presiones a dos alturas diferentes (con el depósito lleno y con el depósito en su límite mínimo de capacidad) y posteriormente se podrá realizar la media de presiones que llegan a la red y con ellas obtener el caudal medio saliente por los emisores.

Para ello, se requiere definir la cota del depósito, cuyos valores obtenidos fueron 1,9 m cuando el depósito estaba lleno y 1 m cuando estaba casi vacío.

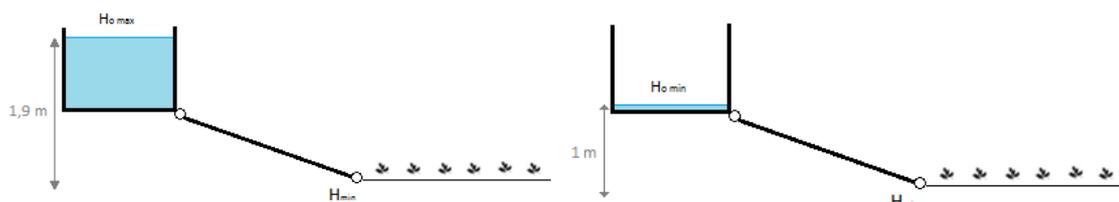


Figura 5. A) Altura del depósito máxima. B) Altura del depósito mínima

Fuente: Propia

1.4.1 PRESIÓN TEÓRICA PARA QUE EL CAUDAL SEA HOMOGÉNEO EN TODA LA INSTALACIÓN

Presión teórica en la entrada de los laterales

En este caso las pérdidas que se requieren son las del lateral y la presión media será aquella a la que los emisores emiten el caudal de diseño, es decir, 10 mca.

Aplicando la Ecuación 12:

$$\frac{P_o}{\gamma} = 10 \text{ mca} + \left(\frac{1,75+1}{1,75+2} \right) \cdot 0,216 \text{ mca} + 0,5 \cdot 0 \text{ m}$$

La presión requerida al inicio del lateral para que el caudal saliente por cada emisor fuese de 2,8 l/h es:

$$\frac{P_o}{\gamma} \text{ lateral} = 10,16 \text{ mca}$$

Presión teórica en la entrada de la tubería terciaria

En este caso las pérdidas que se necesitan serán las de la tubería terciaria. Además, ahora la presión media será la presión de entrada a los laterales.

Aplicando la Ecuación 12:

$$\frac{P_o}{\gamma} = 10,16 \text{ mca} + \left(\frac{1,75+1}{1,75+2} \right) \cdot 0,064 \text{ mca} + 0,5 \cdot 0 \text{ m}$$

La presión requerida al inicio de la terciaria para que el caudal entrante en los laterales sea el necesario para que los emisores liberen 2,8 l/h es:

$$\frac{P_o}{\gamma} \text{ terciaria} = 10,21 \text{ mca}$$

Presión teórica en la entrada de red principal

Obtenidas las presiones teóricas en la terciaria y laterales, la presión teórica en la entrada de la red principal se calcula aplicando la ecuación de Bernoulli (Ecuación 14):

$$\frac{P_o}{\gamma} \text{ entrada} = \frac{P_o}{\gamma} \text{ terciaria} + h_{\text{principal}}$$

$$\frac{P_o}{\gamma} \text{ entrada} = 10,43 \text{ mca}$$

Es decir, serían necesarios 10,43 metros de desnivel para que el caudal medio saliente por todos los emisores fuese de 2,8 l/h, siempre teniendo en cuenta una variación del 10%.

1.4.2 PRESIÓN Y CAUDAL REAL QUE LLEGA A LA INSTALACIÓN

Cálculo de la presión real

Comparando la energía disponible, por ejemplo, cuando el depósito está lleno (1,9 metros), con la energía teórica requerida en la entrada de la red principal, calculada en el apartado anterior, queda reflejado la ineficiencia del sistema de riego actual.

Energía disponible → $P_{\text{disponible}} = 1,9 \text{ mca}$

Energía requerida a la entrada de la red → $P_{\text{entrada}} = 10,43 \text{ mca}$

Para que la presión real coincidiera con la presión requerida, y en consecuencia el sistema de riego trabajara en condiciones óptimas, serían necesarios 8,53 m más de desnivel entre el depósito y la parcela de riego.

A continuación, se muestran los datos reales de presión, cuando el depósito está lleno y cuando se encuentra vacío, en el punto más crítico y en el punto más favorable del sistema.

Para su cálculo se emplea la ecuación de Bernoulli (Ecuación 13), que en esta ocasión queda simplificada así:

$$\frac{P_B}{\gamma} = z_A - h_{\text{pérdidas}}$$

Ecuación 16

- **Con depósito lleno ($H_0 = 1,9 \text{ m}$)**

- Presión en el emisor crítico

Para el cálculo de la presión en el emisor crítico (Figura 6), deben tomarse las pérdidas correspondientes a la tubería principal, terciaria y laterales, ya que el agua deberá realizar todo ese recorrido hasta alcanzar el punto crítico. Así pues, aplicando la Ecuación 16:

$$P_{\text{min}}(H_0=1,9) = 1,377 \text{ mca}$$

- Presión en el emisor más favorable

En este caso el agua realizará únicamente el recorrido de la tubería principal (Figura 7), por tanto sólo se tendrán en cuenta estas pérdidas. Aplicando la Ecuación 16:

$$P_{\text{max}}(H_0=1,9) = 1,66 \text{ mca}$$

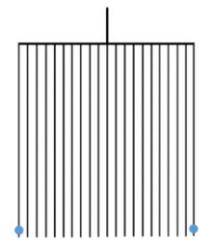


Figura 6. Emisores críticos
Fuente: Propia

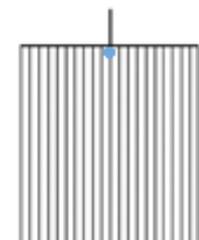


Figura 7. Emisor favorable
Fuente: Propia

- **Con depósito vacío ($H_0 = 1$ m)**

- Presión en el emisor crítico

Para el cálculo de la presión en el emisor crítico (ver Figura 6), deben tomarse las pérdidas correspondientes a la tubería principal, terciaria y laterales, ya que el agua deberá realizar todo ese recorrido hasta alcanzar el punto crítico. Por tanto, aplicando la Ecuación 16:

$$P_{\min}(H_0=1) = 0,477 \text{ mca}$$

- Presión en el emisor más favorable

En este caso el agua realizará únicamente el recorrido de la tubería principal (ver Figura 7), por tanto sólo se tendrán en cuenta estas pérdidas. Aplicando la Ecuación 16:

$$P_{\max}(H_0=1) = 0,761 \text{ mca}$$

Cálculo del caudal real

Con las presiones calculadas en el apartado anterior y la ecuación característica del emisor calculada en el apartado 1.2, se puede obtener el caudal saliente por los emisores en estos puntos.

Así pues, aplicando la Ecuación 4, se van a calcular los caudales reales en los puntos en los que se ha calculado la presión y después se estimará el promedio. Se recuerda que el dato de presión debe ajustarse en mca^3 .

- **Con el depósito lleno ($H_0 = 1,9$ m)**

$$q_{\min}(H_0=1,9) = 0,94 \cdot 1,377^{0,47} \rightarrow$$

$$q_{\min}(H_0=1,9) = 1,09 \text{ l/h}$$

$$q_{\max}(H_0=1,9) = 0,94 \cdot 1,66^{0,47} \rightarrow$$

$$q_{\max}(H_0=1,9) = 1,19 \text{ l/h}$$

- **Con el depósito vacío ($H_0 = 1$ m)**

$$q_{\min}(H_0=1) = 0,94 \cdot 0,477^{0,47} \rightarrow$$

$$q_{\min}(H_0=1) = 0,66 \text{ l/h}$$

$$q_{\max}(H_0=1) = 0,94 \cdot 0,761^{0,47} \rightarrow$$

$$q_{\max}(H_0=1) = 0,83 \text{ l/h}$$

Con los datos obtenidos se puede realizar una estimación del caudal medio en la red cuando el depósito se encuentre con su máxima y mínima capacidad.

➤ **Caudal medio con el depósito lleno ($H_0 = 1,9$ m)**

Realizando un promedio de $q_{\min}(H_0=1,9)$ y $q_{\max}(H_0=1,9)$:

$$q_{\text{medio}}(H_0=1,9) = 1,14 \text{ l/h}$$

³ 1 mca equivale a 0,1 bar

➤ **Caudal medio con el depósito vacío ($H_0 = 1$ m)**

Realizando un promedio de q_{\min} ($H_0=1$) y q_{\max} ($H_0=1$):

$$q_{\text{medio}} (H_0=1) = 0,75 \text{ l/h}$$

Dado que lo que se pretende es conseguir un valor orientativo, no siendo un dato que vaya a influir sobre otros, se han simplificado los cálculos relativos al caudal medio real en la red de riego, obteniéndolos a partir del promedio entre el caudal medio con el depósito lleno y vacío. De este modo el caudal medio orientativo de los emisores en la red será:

$$q_{\text{medio red}} = 0,94 \text{ l/h}$$

Tras los cálculos se puede concluir que el caudal medio al que trabajan los emisores difiere mucho del que debería trabajar (2,8 l/h) y por tanto el funcionamiento del sistema de riego actual no es eficiente. La principal causa que genera esta situación es la poca diferencia de cota que existe entre el depósito y la red de riego, ya que aumentándola, se dotaría de más energía al agua, en consecuencia ésta circularía a mayor presión y por tanto el caudal saliente por los emisores sería mayor.

Mejorar este punto del sistema es uno de los objetivos del presente trabajo, cuyas propuestas se muestran más adelante.

1.5 TIEMPO DE RIEGO

Conocer cuánto tarda el depósito de 200 L en vaciarse será útil para estimar el tiempo total que deben dedicar los agricultores a la actividad del riego.

Cabe decir, que la capacidad del depósito es de 200 L, muy inferior a las necesidades de riego requeridas por las plantas. Puesto que se quiere estimar el tiempo de riego aplicando las necesidades hídricas adecuadas para que las plantas se desarrollen correctamente, se supondrá que cuando el agua del depósito se agote, éste volverá a ser llenado tantas veces como sea necesario hasta que los requerimientos hídricos sean cubiertos. Dado que el marco de plantación se necesita para realizar el cálculo y el único marco de plantación establecido es en el de cultivo de patata, se dará una estimación del tiempo de riego para este cultivo.

Para el cálculo del tiempo de vaciado del depósito se emplea la siguiente ecuación:

$$t = \frac{V}{n_e \cdot q_e}$$

Ecuación 17

t = Tiempo de riego [h]
 V = Volumen de depósito [L]
 n_e = Número de emisores
 q_e = Caudal individual del emisor [l/h]

Conociendo el marco de plantación y las dimensiones de la parcela (apartado 1.1) se obtiene el número de laterales y de emisores en cada lateral. Para el caudal individual del emisor se utiliza el caudal medio en la red calculado en el apartado anterior.

De esta manera, aplicando la Ecuación 17 el tiempo de vaciado de un depósito de 200 L es:

$$t = 0,15 \text{ h} \rightarrow \boxed{t = 9 \text{ min}}$$

Consultando el Anexo V, se consiguen las necesidades de riego totales para el cultivo de patata ($NR_{t \text{ patata}}$) durante los días críticos:

$$NR_{t \text{ patata}} = 1.174,3 \text{ mm}$$

Por tanto, para poder suministrar el agua requerida para el correcto desarrollo de las plantas se deberá llenar el depósito un mínimo de 6 veces.

Teniendo en cuenta que cada vez que se llena un depósito tarda en vaciarse 9 minutos, para suministrar las NR_t se necesitarán aproximadamente 54 minutos.

Sin embargo, este no es el tiempo de riego total empleado ya que, el proceso de llenado del depósito manualmente conlleva tiempo extra. El depósito se llena de forma manual con cubos de agua procedentes del pozo situado a 50 metros. El bombeo manual lo realizan los niños de la escuela, extrayendo por cada bombeo aproximadamente 0,5 L de agua. Tras la toma de tiempos de bombeo se extrajo una media, en la que se concluyó que la acción de un bombeo costaba 1,5 segundos y de 10 bombeos seguidos 13,8 segundos⁴. Asumiendo que la capacidad de los cubos es de 12 L, lo que supone 24 bombeos por cubo, se requerirían $16,6 \approx 17$ cubos para llenar un depósito. Además, cabe decir que el pozo no goza de un tanque donde almacenar el agua que los niños van bombeando, con lo cual las acciones de bombeo y traslado deben hacerse de forma escalonada. Suponiendo que el traslado de los cubos llenos desde el pozo hasta el depósito costase aproximadamente 3 minutos y que el trayecto de vuelta, con el cubo vacío costase 2 minutos, el tiempo total de riego empleado asciende a:

$$\begin{aligned} \dot{t}_{total} = & (9 \text{min}_{(\text{vaciado depósito})} \cdot 6_{(\text{depósitos})}) + (24_{(\text{bombeos})} \cdot 0,024 \text{min}_{(\text{tiempo medio bombeo})} \cdot 17_{(\text{cubos})} \cdot 6_{(\text{depósitos})}) + \\ & (17_{(\text{cubos})} \cdot 3 \text{min}_{(\text{traslado pozo-depósito})} \cdot 6_{(\text{depósitos})}) + (16_{(\text{cubos})} \cdot 2 \text{min}_{(\text{traslado pozo-depósito})} \cdot 6_{(\text{depósitos})}) \end{aligned}$$

$$\dot{t}_{total} = 610,75 \text{ min} \rightarrow \boxed{\dot{t}_{total} = 10 \text{ h } 10 \text{ min } 8 \text{ s}}$$

2. ALTERNATIVAS PROPUESTAS

Frente a las debilidades que presenta el actual sistema de riego, se pensó en rediseñar nuevas alternativas que se ajustaran al entorno de Etiopía y a la vez permitieran mejorar la calidad de vida de los agricultores.

⁴ Para la estimación del tiempo total de riego se toma la media entre el valor individual y el de las 10 acciones continuadas.

Tal y como se plantea la actual instalación de riego, supone un elevado esfuerzo físico tanto para los agricultores, debido al transporte del agua desde el pozo al depósito de la parcela, como para los niños de la escuela, encargados del bombeo manual del agua del pozo. Si a esto se le suma las más de 10 horas que debería dedicar un agricultor a la actividad del riego, lo cual impide el desarrollo de otras actividades, queda reflejado el fallo del sistema.

Por este motivo, en este trabajo, además de dar respuesta a las deficiencias técnicas que presenta el sistema actual, como son definir marcos de plantación y requerimientos hídricos adecuados a cada cultivo, consiguiendo un funcionamiento del sistema eficiente, se ha hecho hincapié sobre los puntos que permitieran mejorar la salud y calidad de vida de las personas, como son reducir el esfuerzo físico, el tiempo de riego y en consecuencia el tiempo de trabajo. Todo esto intentando crear un diseño sencillo y económico.

2.1 ALTERNATIVA 1: BOMBEO MANUAL CON CANALIZACIÓN EXTERNA DEL AGUA HASTA EL DEPÓSITO SITUADO EN LA PARCELA

La primera propuesta consiste en extraer el agua del pozo mediante bombeo manual, tal y como se hace actualmente, pero en este caso en vez de transportar el agua a pie hasta el depósito situado a 50 metros, se canalizaría por una tubería galvanizada elevada sostenida sobre piquetes de madera hasta el depósito, por gravedad puesto que la diferencia de cota (8 metros) lo permite.

Además, el tamaño del depósito se aumentaría a una capacidad tal para que albergara el volumen de agua requerido para el cultivo más exigente durante dos días, ya que durante el fin de semana no hay escuela y por tanto tampoco bombeo. Sin embargo, las plantas no distinguen entre fin de semana o no y las aportaciones hídricas son esenciales, por eso el guardia de seguridad de la escuela, del mismo modo que sucede en la instalación actual, sería el encargado de abrir la válvula de control para que el riego comience. Si se consulta el Anexo V, se aprecia que el cultivo más exigente es el tomate, por tanto se diseñará el tanque de acuerdo a sus requerimientos hídricos, de esta manera podrá ser utilizado también para los otros cultivos. Así pues, el depósito tendrá una capacidad de 2600 L.

Para tener una idea clara del diseño y distribución de los componentes de esta primera alternativa, en la Figura 8 se muestra un esquema gráfico.

Además, en el plano 2 del Anexo VIII, se presenta la distribución a escala de esta propuesta. Cabe decir que el marco de plantación representado es el correspondiente al cultivo de patata utilizando el material existente (ver apartado 2 del Anexo VII).

Ventajas

- Reducción del esfuerzo físico que realizan las personas, ya que únicamente se demanda el bombeo desde el pozo, que aun siendo una actividad relativamente larga en cuanto a tiempo, no resulta excesivamente costosa puesto que el mecanismo de extracción del agua es muy suave y se pueden hacer relevos. Además, se me confirmó por parte del director de la escuela, que esta actividad la llevan a cabo un grupo de niños cada día durante los recreos a modo de juego.

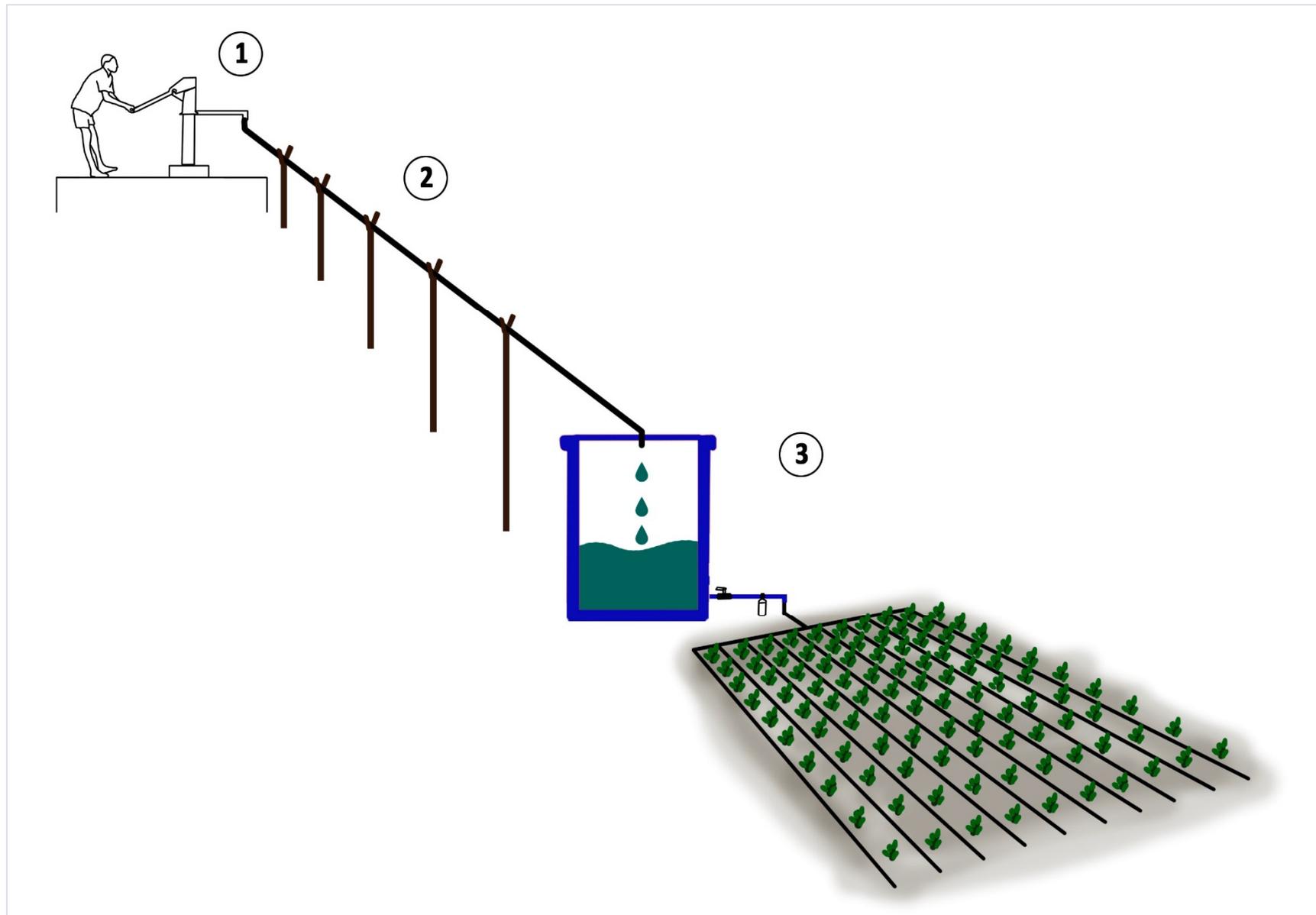


Figura 8. Esquema gráfico de la primera alternativa. 1) Bombeo manual. 2) Transporte por gravedad a través de tubería elevada. 3) Llenado del depósito.

Fuente: Laura Martínez Mifsut

- Aumento del tamaño del depósito.
- Posibilidad del llenado completo del depósito en un periodo y en consecuencia disponibilidad para emplear el resto del tiempo en otras actividades.
- Instalación muy sencilla.
- Coste de instalación bajo, requiriendo únicamente una tubería galvanizada que conecte el pozo con el depósito en la parcela, unos piquetes que sujeten la tubería (ambos accesibles en mercados locales) y un depósito de 2600 L.

Inconvenientes

- Al encontrarse la parcela y el pozo en el interior del recinto de una escuela rural, los piquetes de madera que sujeten la tubería podrían resultar peligrosos para los niños.
- El bombeo continúa siendo manual.
- Exposición de la tubería a los fenómenos atmosféricos pudiendo dar lugar a un deterioro rápido.
- Al encontrarse el depósito al lado de la parcela, la diferencia de cota es parecida a la que hay actualmente (variaría en función de la altura del nuevo depósito), de modo que si se riega mientras se bombea, como la diferencia de cota es de 8 metros, el agua adquiere energía y en consecuencia la presión y el caudal en la red de riego aumentan. Sin embargo, si se realiza el riego con el agua almacenada en el depósito, la diferencia de cota será mucho menor y los problemas de heterogeneidad de caudales en la red serán frecuentes.

Elementos y dimensiones

A continuación se describen con detalle los elementos y dimensiones de los componentes que forman esta alternativa. Cabe recordar que gran parte del material empleado es reutilizado de la instalación actual, intentando minimizar costes y haciendo accesibles las nuevas alternativas.

ALTERNATIVA 1		
ELEMENTO	MATERIAL	DIMENSIONES
Tuberías	Galvanizado	\varnothing_{ext} 50 mm, \varnothing_{int} 44 mm
	PVC	\varnothing_{ext} 32 mm, \varnothing_{int} 29 mm
	PVC con emisores integrados	\varnothing_{ext} 16 mm, \varnothing_{int} 13,8 mm
Depósito	Polietileno	2600 L
Válvula control ⁵	-	-
Filtro ⁵	-	-
Piquetes	Madera	1,90 m

Tabla 2. Elementos que componen la alternativa 1.

⁵ Se emplearán los que tienen actualmente. No se conoce ni el tipo ni el material.

Cálculos del funcionamiento del sistema

El funcionamiento de esta alternativa sólo difiere de la actual instalación en que el agua desde el pozo a la parcela se canaliza a través de una tubería. A pesar de que este punto conlleva mejoras importante por lo que respecta a los agricultores, en el aspecto técnico de la instalación no sufre grandes cambios.

Para observar si esta alternativa consigue irrigar con caudales más homogéneos la parcela que el diseño actual propuesto por la BDU, se deberá conocer qué caudales llegan a la misma. A continuación se presentan los cálculos pertinentes.

Cálculo de las pérdidas

Para estimar el caudal saliente por los emisores, en primer lugar, es necesario conocer las pérdidas en el sistema. Para ello, se requiere conocer el marco de riego empleado. En el Anexo VII se han calculado los marcos de riego apropiados para cada cultivo, utilizando el material existente o planteando marcos nuevos.

Dado que el cálculo de presiones y caudales al que trabaja la instalación actual se ha realizado con el marco de riego actual de patata, se va a tomar el marco de riego propuesto en el Anexo VII utilizando el material existente para el cultivo de patata. Así pues, el marco de riego modelo que se proponen para los cálculos en todas las alternativas es:

- $S_L = 1,4 \text{ m} \rightarrow$ lo que supone 7 laterales
- $S_e = 0,3 \text{ m} \rightarrow$ se colocarían 67 emisores por cada lateral

En segundo lugar, se debe proceder al cálculo de las pérdidas que genera el diseño planteado en la alternativa 1. Para ello, es imprescindible conocer las longitudes y diámetros de las tuberías que componen el diseño propuesto. Para tener una idea clara, a continuación se muestra una tabla resumen de las longitudes y diámetros de cada una de las tuberías.

NOMBRE TUBERÍA	CONEXIÓN	LONGITUD (m)	DIÁMETRO (mm)
Tubería galvanizada	Pozo-Depósito	50	$\varnothing_{\text{ext}}50 \text{ mm}, \varnothing_{\text{int}}44 \text{ mm}$
Tubería principal	Depósito-Tubería terciaria	2	$\varnothing_{\text{ext}}32 \text{ mm}, \varnothing_{\text{int}}29 \text{ mm}$
Tubería terciaria	Tubería principal-Laterales	9,5	$\varnothing_{\text{ext}}32 \text{ mm}, \varnothing_{\text{int}}29 \text{ mm}$
Laterales	Tubería terciaria-Cultivo	20 x 7 laterales	$\varnothing_{\text{ext}}16 \text{ mm}, \varnothing_{\text{int}}13,8 \text{ mm}$

Tabla 3. Dimensiones de las tuberías que componen la alternativa 1.

Así pues, utilizando los métodos de cálculo propuestos en el apartado 1.3, las pérdidas quedarían de la siguiente manera:

PÉRDIDAS TUBERÍA GALVANIZADA

Se calculan por el Método del coeficiente mayorante, en el que se toman las pérdidas menores como un 20% de las pérdidas continuas. Sabiendo que el caudal teórico que debería salir por los emisores es de 2,8 l/h, que el depósito tiene capacidad para dos riegos, que en la parcela se colocan 7 laterales con 67 emisores cada uno, y aplicando la Ecuación 6:

$$h_{galvanizada} = 1,2 \cdot 0,450 \cdot 50m \cdot \frac{(2 \cdot 2,8 \text{ l/h} \cdot 7 \text{ laterales} \cdot 67 \text{ emisores})^{1,75}}{44^{4,75}}$$

$$h_{galvanizada} = 0,406 \text{ mca}$$

PÉRDIDAS TUBERÍA PRINCIPAL

También se emplea el Método del coeficiente mayorante, tomando las pérdidas menores como un 20% de las continuas. Conociendo el caudal teórico saliente por los emisores (2,8 l/h), el diseño y medidas del marco de riego mencionado arriba, y aplicando la Ecuación 6:

$$h_{principal} = 1,2 \cdot 0,450 \cdot 2m \cdot \frac{(2,8 \text{ l/h} \cdot 7 \text{ laterales} \cdot 67 \text{ emisores})^{1,75}}{29^{4,75}}$$

$$h_{principal} = 0,035 \text{ mca}$$

PÉRDIDAS TUBERÍA TERCIARIA

Ahora, al tratarse de una tubería con derivaciones, se emplea el Método del coeficiente mayorante al que hay que añadirle el Factor de Christiansen.

El diseño de la red de riego es simétrico y el suministro de agua es desde un punto intermedio, por tanto, se tendrán en cuenta las pérdidas desde el punto intermedio hasta un extremo, dado que el número de laterales es impar, uno quedará justo en el medio, por tanto el agua no pasará por la terciaria, no siendo necesario contabilizarlo. De este modo, aplicando la Ecuación 8 se obtiene:

$$F_{a \text{ terciaria}} = \frac{1}{1,75+1} + \frac{1}{2 \cdot 3} + \frac{\sqrt{1,75-1}}{6 \cdot 3^2} = 0,539$$

Consultando los datos de la Alternativa 1 en el apartado anterior y aplicando la Ecuación 9:

$$h_{terciaria} = 0,539 \cdot 1,2 \cdot 0,450 \cdot 4,75m \cdot \frac{(2,8 \text{ l/h} \cdot 3 \text{ laterales} \cdot 67 \text{ emisores})^{1,75}}{29^{4,75}}$$

$$h_{terciaria} = 0,010 \text{ mca}$$

PÉRDIDAS LATERALES

Dado que las características del lateral son idénticas a las del diseño realizado por la BDU, el cálculo es el mismo (ver apartado 1.3).

$$h_{lateral} = 0,216 \text{ mca}$$

PÉRDIDAS TOTALES

$$h_{TOTALES} = h_{galvanizada} + h_{principal} + h_{terciaria} + h_{lateral}$$

$$h_{TOTALES} = 0,406 + 0,035 + 0,010 + 0,216 = 0,667 \text{ mca}$$

$$h_{TOTALES} = 0,667 \text{ mca}$$

Cálculo de presión y caudal

La presión y en consecuencia el caudal, con el que el agua llegue a la instalación varía en función de cómo se aplique el riego. Así pues, las dos opciones que hay son:

- **Riego directo desde el pozo mientras se bombea el agua.**

En este caso se cuenta con un desnivel de 8 metros ($H_0 = 8\text{m}$) que permitirá aumentar la presión en la red y con ello el caudal. Aplicando la Ecuación 16 y conociendo las pérdidas calculadas en el apartado anterior se obtiene la presión:

$$P (H_0 = 8) = 7,33 \text{ mca}$$

Aplicando la ecuación característica del emisor (Ecuación 4), se obtiene el caudal:

$$q (H_0 = 8) = 0,94 \cdot 7,33^{0,47} \rightarrow q = 2,39 \text{ l/h}$$

Esto significa que si la válvula control se abre mientras se bombea el agua, el caudal medio saliente por los emisores (siempre teniendo en cuenta un margen del 10% de variación) sería de 2,39 l/h.

Con este valor se demuestra que aunque no trabaje el sistema al 100% de eficacia, pues eso sería si llegase el máximo caudal (2,8 l/h) a la red, se aproxima mucho más que el diseño actual, en el cual el caudal medio que llega a la red es de 0,94 l/h como se explica en el apartado 1.4.2.

- **Riego desde el depósito al lado de la parcela.**

Si el agua se almacena en el depósito y se riega desde éste, únicamente se cuenta con la altura del depósito respecto del suelo, ya que al tener unas

dimensiones tan grandes no es viable colocarlo sobre una superficie elevada como ocurre en el diseño de la BDU.

Así pues, teniendo en cuenta que la altura del depósito de 2600 L es de 1,92 m, cuando el depósito está lleno, y que el volumen de agua del depósito se utiliza para dos riegos, se va a calcular el caudal medio para un primer riego, en el que se vaciará aproximadamente mitad depósito y después se calcula para un segundo riego en el que se vacía la otra mitad. Dado que el agua está almacenada en el depósito no se tendrán en cuenta las pérdidas de la tubería galvanizada. (Puesto que el cálculo es complejo, y dado que solo nos interesa un valor orientativo se van a simplificar tomando un valor medio).

- Primer riego: se vacía medio depósito lo cual quiere decir que las alturas de cabecera serían las siguientes:

$$H_0 = 1,92 \text{ m} \qquad H_{\min} = 0,96 \text{ m}$$

Para calcular a groso modo el caudal medio durante este primer riego, tomamos la altura media entre estas dos: $H=1,44 \text{ m}$

Aplicando la ecuación 16 se obtiene la presión media:

$$P = 1,18 \text{ mca}$$

Aplicando la Ecuación 4 se obtiene el caudal:

$$q = 1,02 \text{ l/h}$$

- Segundo riego: las alturas de cabecera en esta ocasión serían las siguientes:

$$H_0 = 0,96 \text{ m} \qquad H_{\min} = 0 \text{ m}$$

Tomando $H=0,48 \text{ m}$, y aplicando la Ecuación 16 y la Ecuación 4 se calcula a groso modo la presión y el caudal respectivamente:

$$P = 0,219 \text{ mca}$$

$$q = 0,46 \text{ l/h}$$

Como cabía esperar, los caudales son mucho más inferiores que si se aplica el riego directo desde el pozo, lo cual significa que durante el fin de semana, a no ser que se responsabilicen del bombeo personas diferentes a los niños, las plantas recibirán menor cantidad de agua y de manera bastante irregular.

Cálculo del tiempo empleado al riego

El tiempo dedicado al riego se reduce muy considerablemente en comparación a la duración actual, únicamente suprimiendo el transporte manual del agua hasta el depósito.

Partiendo de los tiempos de bombeo citados en el apartado 1.5, y teniendo en cuenta que el depósito tiene una capacidad de 2600 L, serán necesarios 5.200 bombeos, ya que en cada bombeo se extrae 0,5 L. Así pues, el tiempo de riego empleado con esta alternativa será:

$$t_{\text{riego}} = 0,024\text{min}(\text{tiempo medio bombeo}) \cdot 5.200(\text{bombeos}) = 124,8 \text{ min}$$

$t_{\text{riego}} = 2 \text{ h } 4 \text{ min } 8 \text{ s}$
--

Con esta alternativa el tiempo total aproximado empleado a la actividad del riego es de poco más de dos horas, lo cual significa que se dedica al riego un 80 % menos de tiempo, pudiéndolo aprovechar para otras actividades.

2.2 ALTERNATIVA 2: BOMBEO MANUAL CON DEPÓSITO AL LADO DEL POZO Y CANALIZACIÓN DEL AGUA POR UNA TUBERÍA SUBTERRÁNEA HASTA LA RED DE RIEGO

La segunda alternativa consiste en extraer el agua del pozo mediante bombeo manual, pero en este caso se canalizaría por una tubería galvanizada hasta un depósito situado a dos metros del pozo. Desde dicho depósito se conduciría el agua por gravedad, aprovechando así la diferencia de cota, que es alrededor de 8 metros, mediante una tubería enterrada hasta la red de riego situada a 50 metros aproximadamente.

Además, al igual que se explica en el apartado 2.1 para la alternativa 1, el tamaño del depósito se aumentaría a una capacidad tal para que albergara el volumen de agua requerido para el cultivo más exigente durante dos días, puesto que durante el fin de semana no hay escuela y por tanto tampoco bombeo. No obstante, las plantas necesitan aportes hídricos, de forma que será el guardia de seguridad de la escuela el encargado de abrir la válvula de control para que comience el riego. El tanque se diseñará de acuerdo a los requerimientos hídricos para el cultivo de tomate, puesto que es el más exigente (ver Anexo V) y así puede utilizarse para los otros cultivos. Así pues, el depósito tendrá una capacidad de 2600 L.

En la Figura 9 se muestra un esquema gráfico del diseño de la segunda alternativa.

Además, en el plano 3 del Anexo VIII, se muestra la distribución a escala de los componentes de este diseño. El marco de plantación representado es el correspondiente a patata aprovechando el material existente

Ventajas

- Reducción del esfuerzo físico que realizan los agricultores, pues ya no transportan el agua a pie. Si bien es cierto que el bombeo del agua del pozo continúa siendo manual y requiere bastante tiempo, no resulta tan costoso puesto que el mecanismo de extracción del agua es muy suave y se hacen relevos. Además, se me confirmó por parte del director de la escuela, que esta actividad la llevan a cabo un grupo de niños cada día durante los recreos a modo de juego.
- Aumento del tamaño del depósito.

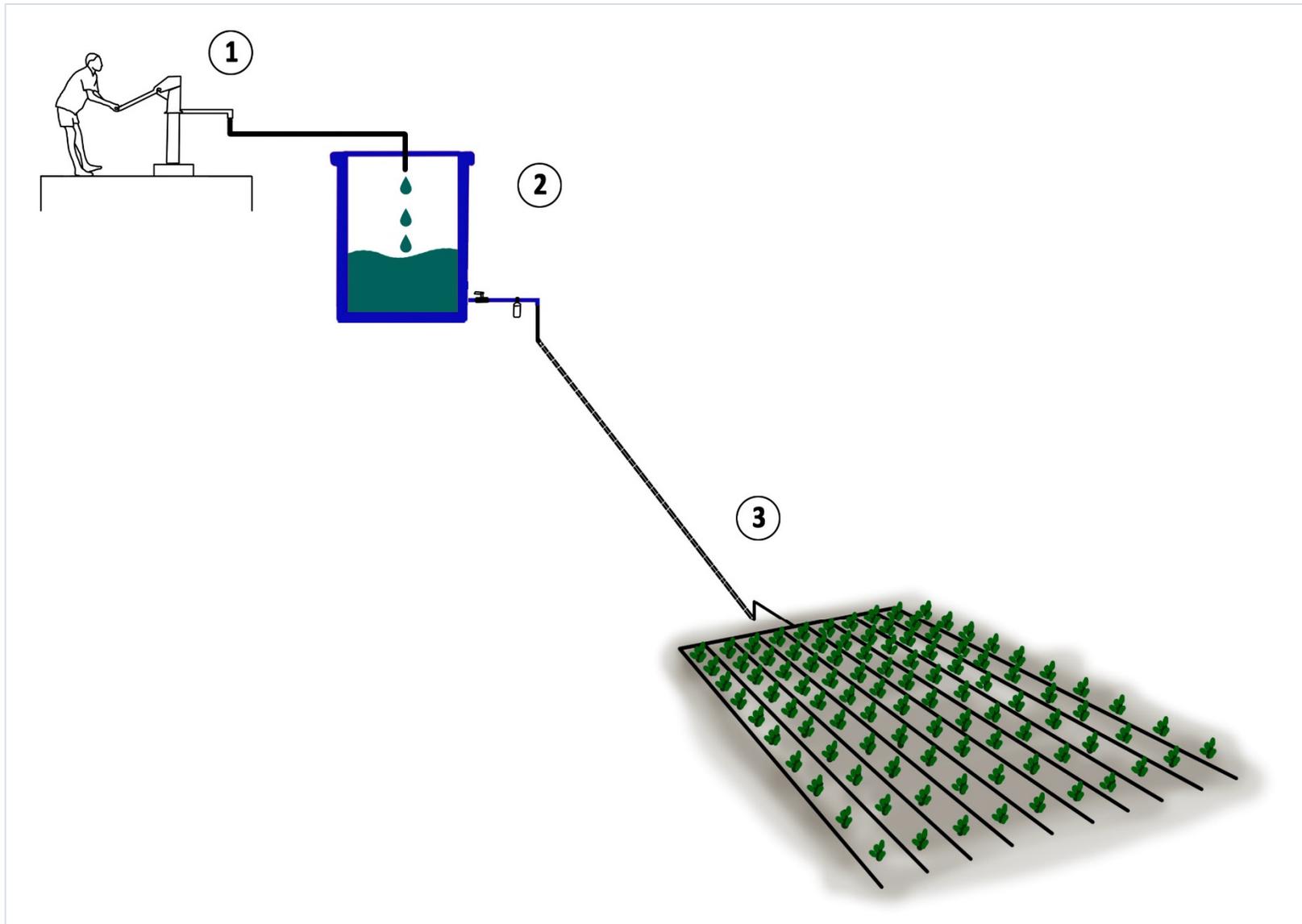


Figura 9. Diseño gráfico de la segunda alternativa. 1) Bombeo manual. 2) Llenado del depósito. 3) Transporte del agua por gravedad a través de tubería subterránea.

Fuente: Laura Martínez Mifsut

- Posibilidad del llenado completo del depósito, lo que supone una autonomía de dos días y por tanto al día siguiente no sería necesario bombear, pudiendo emplear ese tiempo otras actividades. Además, si el depósito es llenado durante un mismo periodo se dispone de más tiempo para realizar otras tareas durante el resto del día.
- Instalación sencilla.
- Instalación segura para los niños de la escuela.
- Mayor durabilidad de la tubería que conecta el depósito con la red porque se encuentra enterrada.
- Disponibilidad de diferencia de cota que permita al agua llegar con caudales más o menos homogéneos a toda la red de riego.
- Coste de instalación bajo, requiriendo únicamente una pequeña tubería galvanizada que conecte el pozo con el depósito, otra tubería que se colocará enterrada que conecte el depósito con la red de riego y un depósito de 2600 L.

Inconvenientes

- En caso de obstrucción en la tubería enterrada sería necesario abrir una zanja y cambiarla entera.
- El bombeo sigue siendo manual.

Elementos y dimensiones

A continuación se describen con detalle los elementos y dimensiones de los componentes que forman la alternativa 2. Es importante recordar que gran parte del material empleado es reutilizado de la instalación actual con el objetivo de minimizar costes, haciendo más accesibles las propuestas presentadas.

ALTERNATIVA 2		
ELEMENTO	MATERIAL	DIMENSIONES
Tuberías	Galvanizado	$\varnothing_{\text{ext}}50$ mm, $\varnothing_{\text{int}}44$ mm
	PVC	$\varnothing_{\text{ext}}32$ mm, $\varnothing_{\text{int}}29$ mm
	PVC con emisores integrados	$\varnothing_{\text{ext}}16$ mm, $\varnothing_{\text{int}}13,8$ mm
Depósito	Polietileno	2600 L
Válvula control ⁵	-	-
Filtro ⁵	-	-

Tabla 4. Componentes de la alternativa 2.

Cálculos del funcionamiento del sistema

La canalización del agua desde el pozo al depósito conlleva importantes mejoras en la práctica del riego tanto desde el punto de vista de la salud de los agricultores como del tiempo dedicado a dicha actividad.

Con esta propuesta se pretende que pequeños cambios en la instalación actual generen grandes beneficios para los agricultores y para el cultivo. Las mejoras sobre los agricultores ya se han mencionado en el apartado de ventajas, no obstante, la mejora sobre el cultivo sería un diseño que consiguiera irrigar con caudales homogéneos la parcela de estudio. Para comprobar esto último, a continuación se presentan los cálculos pertinentes.

Cálculo de las pérdidas

En primer lugar, para estimar el caudal saliente por los emisores, es necesario conocer las pérdidas en el sistema. Para ello, se requiere conocer el marco de riego empleado que como se ha dicho en el apartado 2.1 se toma como modelo el marco de riego propuesto en el Anexo VII para patata:

- $S_L = 1,4 \text{ m} \rightarrow$ lo que supone 7 laterales
- $S_e = 0,3 \text{ m} \rightarrow$ se colocarían 67 emisores por cada lateral

En segundo lugar, deben calcularse las pérdidas de carga en las tuberías que genera el diseño propuesto. Para ello, es imprescindible conocer las longitudes y diámetros de las tuberías que componen esta propuesta. A continuación se muestra una tabla resumen estas.

NOMBRE TUBERÍA	CONEXIÓN	LONGITUD (m)	DIÁMETRO (mm)
Tubería galvanizada	Pozo-Depósito	2	$\varnothing_{\text{ext}}50 \text{ mm}, \varnothing_{\text{int}}44 \text{ mm}$
Tubería principal	Depósito-Tubería terciaria	50	$\varnothing_{\text{ext}}32 \text{ mm}, \varnothing_{\text{int}}29 \text{ mm}$
Tubería terciaria	Tubería principal-Laterales	9,5	$\varnothing_{\text{ext}}32 \text{ mm}, \varnothing_{\text{int}}29 \text{ mm}$
Laterales	Tubería terciaria-Cultivo	20 x 7 laterales	$\varnothing_{\text{ext}}16 \text{ mm}, \varnothing_{\text{int}}13,8 \text{ mm}$

Tabla 5. Dimensiones de las tuberías que componen la alternativa 2.

Ahora sí, se está en condiciones de calcular las pérdidas provocadas por el diseño planteado en la presente alternativa. Utilizando los métodos de cálculo propuestos en el apartado 1.3, las pérdidas quedarían de la siguiente manera:

PÉRDIDAS TUBERÍA GALVANIZADA

Para su cálculo se utiliza el Método del coeficiente mayorante, en el que se toman las pérdidas menores como un 20% de las pérdidas continuas. Sabiendo que debe llenarse el depósito, cuya capacidad es para dos riegos, que el caudal teórico saliente por los emisores es

de 2,8 l/h, que la distribución en la parcela son 7 laterales con 67 emisores cada uno, y aplicando la Ecuación 6:

$$h_{galvanizada} = 1,2 \cdot 0,450 \cdot 2m \cdot \frac{(2 \cdot 2,8 \text{ l/h} \cdot 7 \text{ laterales} \cdot 67 \text{ emisores})^{1,75}}{44^{4,75}}$$

$$h_{galvanizada} = 0,016 \text{ mca}$$

PÉRDIDAS TUBERÍA PRINCIPAL

También se emplea el Método del coeficiente mayorante, tomando las pérdidas menores como un 20% de las continuas. Conociendo el caudal teórico saliente por los emisores (2,8 l/h), el diseño y medidas del marco de riego mencionado arriba, y aplicando la Ecuación 6:

$$h_{principal} = 1,2 \cdot 0,450 \cdot 50m \cdot \frac{(2,8 \text{ l/h} \cdot 7 \text{ laterales} \cdot 67 \text{ emisores})^{1,75}}{29^{4,75}}$$

$$h_{principal} = 0,875 \text{ mca}$$

PÉRDIDAS TUBERÍA TERCIARIA

Por tratarse de una tubería con derivaciones, se emplea el Método del coeficiente mayorante al que se le debe añadir el Factor de Christiansen (ver apartado 1.3).

Dado que las características de la tubería terciaria, laterales y el marco de riego modelo que se toma son idénticos a los de la alternativa 1, los cálculos son iguales, de modo que se presentan solo los resultados (para ver el procedimiento ir al apartado 2.1—Cálculo de las pérdidas)

$$h_{terciaria} = 0,010 \text{ mca}$$

PÉRDIDAS LATERALES

En este caso puesto que las características del lateral son idénticas a las del diseño realizado por la BDU, el cálculo es el mismo (ver apartado 1.3).

$$h_{lateral} = 0,216 \text{ mca}$$

PÉRDIDAS TOTALES

$$h_{TOTALES} = h_{galvanizada} + h_{principal} + h_{terciaria} + h_{lateral}$$

$$h_{TOTALES} = 0,016 + 0,875 + 0,010 + 0,216 = 1,117 \text{ mca}$$

$$h_{TOTALES} = 1,117 \text{ mca}$$

Cálculo de presión y caudal

Es importante saber que como el agua se almacena en el depósito, para la distribución de la misma hacia la red de riego no influyen las pérdidas de la tubería galvanizada. Así pues, partiendo de que el depósito está situado sobre el terreno al lado del pozo, y que el desnivel existente entre el pozo y la parcela es de 8 metros ($H_0 = 8\text{m}$), la presión que llegará a la red de riego teniendo en cuenta las pérdidas producidas por el sistema, se calcula aplicando la Ecuación 16:

$$P = 6,89 \text{ mca}$$

Aplicando la ecuación característica del emisor (Ecuación 4), se obtiene el caudal saliente por los emisores:

$$q = 0,94 \cdot 6,89^{0,47} \rightarrow q = 2,33 \text{ l/h}$$

Es decir, con la alternativa 2, el caudal medio saliente por los emisores será de 2,33 l/h, siempre teniendo en cuenta un margen del 10% de variación. Este valor demuestra que con este diseño no se consigue un sistema 100% eficiente, pues eso sería si llegase el máximo caudal (2,8 l/h) a la red, para lo cual sería necesario mayor desnivel. Sin embargo, el caudal obtenido con esta propuesta supera en más del doble al que se obtiene con el diseño actual (0,94 l/h) (ver apartado 1.4.2.). Por tanto, se puede concluir que pequeños y sencillos cambios en el diseño actual pueden originar importantes mejoras.

Cálculo del tiempo empleado al riego

El tiempo dedicado al riego con esta alternativa es idéntico al empleado en la alternativa 1, ya que únicamente se utiliza tiempo para realizar el bombeo manual. Así pues, el tiempo de riego que se requiere con esta propuesta es (ver apartado 2.1):

$$t_{\text{riego}} = 2 \text{ h } 4 \text{ min } 8 \text{ s}$$

Como se ha dicho anteriormente, este valor supone un 80% menos de tiempo dedicado al riego, lo cual podría repercutir de manera importante en la vida de los agricultores, pudiendo dedicar mayores periodos al cuidado del ganado, a las labores de mantenimiento de los cultivo y a compartir mayor tiempo con la familia.

2.3 ALTERNATIVA 3: BOMBEO FOTOVOLTAICO CON DEPÓSITO DE ALMACENAJE AL LADO DEL POZO Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA A TRAVÉS DE UNA TUBERÍA SUBTERRÁNEA HASTA LA RED DE RIEGO

Aprovechando el potencial de radiación solar que tiene Etiopía y dos pequeños paneles fotovoltaicos que la UJI donó a BDU y que actualmente se emplean para cuestiones docentes en esta última universidad, la tercera alternativa consiste en extraer el agua del pozo mediante un sencillo sistema de bombeo fotovoltaico, con el objetivo de suprimir el bombeo manual y reducir al máximo, el esfuerzo físico y tiempo de trabajo.

El agua será conducida hacia un depósito situado al lado del pozo, y de aquí se distribuirá por gravedad hacia la red de riego a través de una tubería subterránea.

Al igual que sucede en las dos propuestas anteriores, el tamaño del depósito se aumentaría respecto del que se tiene en este momento (200 L), para que tuviera una capacidad de 2600 L, pudiendo almacenar las demandas hídricas del cultivo más exigente durante dos días, de modo que si se sucediesen varios días nublados, en los que la capacidad de bombeo disminuye, hubiese suficiente agua almacenada en el depósito para poder abastecer al cultivo correctamente.

Para tener una idea clara de la distribución y el diseño de los componentes, en la Figura 10 se muestra un esquema gráfico de la tercera alternativa.

Además, en el plano 3 del Anexo VIII, se presenta la distribución a escala de los elementos de este diseño. Cabe decir, que no se han representado los paneles fotovoltaicos y que el marco de plantación dibujado es el correspondiente al cultivo de patata aprovechando el material existente (ver apartado 2 del Anexo VII).

Ventajas

- Reducción al mínimo del esfuerzo físico realizado tanto por los agricultores, pues ya no transportan el agua a pie, como por los niños de la escuela, pues ya no bombean el agua del pozo.
- Aumento del tamaño del depósito.
- Mayor disponibilidad de tiempo para emplearlo en otras tareas (labores de cultivo, cuidar del ganado, etc.)
- Instalación segura para los niños de la escuela.
- Mayor durabilidad de la tubería que conecta el depósito con la red porque se encuentra enterrada y no está expuesta a los fenómenos atmosféricos.
- Disponibilidad de diferencia de cota que permita al agua llegar con caudales homogéneos a toda la red de riego.

Inconvenientes

- Si se produce una obstrucción en la tubería enterrada sería necesario abrir una zanja y cambiarla entera.
- Instalación compleja.
- Coste mayor. Aunque realmente la mayoría del material es reutilizado de la instalación actual, y los paneles fotovoltaicos ya se tienen, sería necesario la compra de un depósito y una bomba, que elevaría el coste.

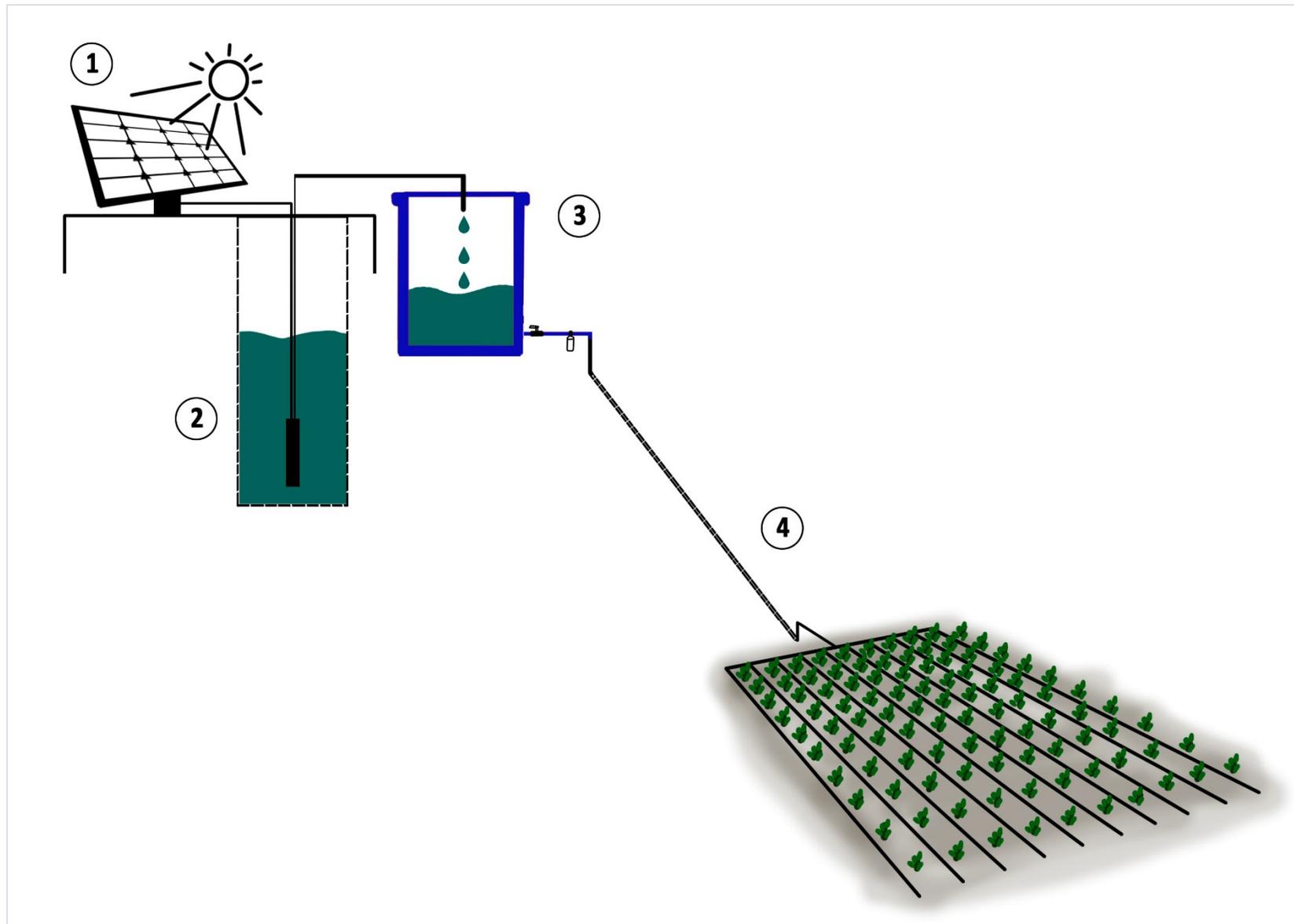


Figura 10. Esquema gráfico de la tercera alternativa. 1) Captación de energía. 2) Bombeo automático. 3) Llenado del depósito. 4) Transporte del agua por gravedad a través de tubería subterránea.

Fuente: Laura Martínez Mifsut

Elementos y dimensiones

A continuación se describen con detalle los elementos y dimensiones de los componentes que forman la tercera alternativa. Cabe recordar, que el propósito es aprovechar cuanto más material posible de la instalación actual, facilitando la accesibilidad a una nueva propuesta y disminuyendo costes. Por esta razón, gran parte del material empleado forma parte del que tiene la instalación en este momento.

ALTERNATIVA 3		
ELEMENTO	MATERIAL	DIMENSIONES
Tuberías	PVC	$\varnothing_{ext}75$ mm, $\varnothing_{int}63,5$ mm
	PVC	$\varnothing_{ext}32$ mm, $\varnothing_{int}29$ mm
	PVC con emisores integrados	$\varnothing_{ext}16$ mm, $\varnothing_{int}13,8$ mm
Bomba	Acero inoxidable	-
Paneles fotovoltaicos	Células de silicio policristalinas	530 x 510 x 36 mm
Depósito	Polietileno	2600 L
Válvula control ⁵	-	-
Filtro ⁵	-	-

Tabla 6. Componentes de la alternativa 3.

En la Figura 11 se muestran los paneles solares y la caja de control que la Universitat Jaume I donó a Bahir Dar University, siendo estos los que se emplearían para poner en funcionamiento la alternativa 3.

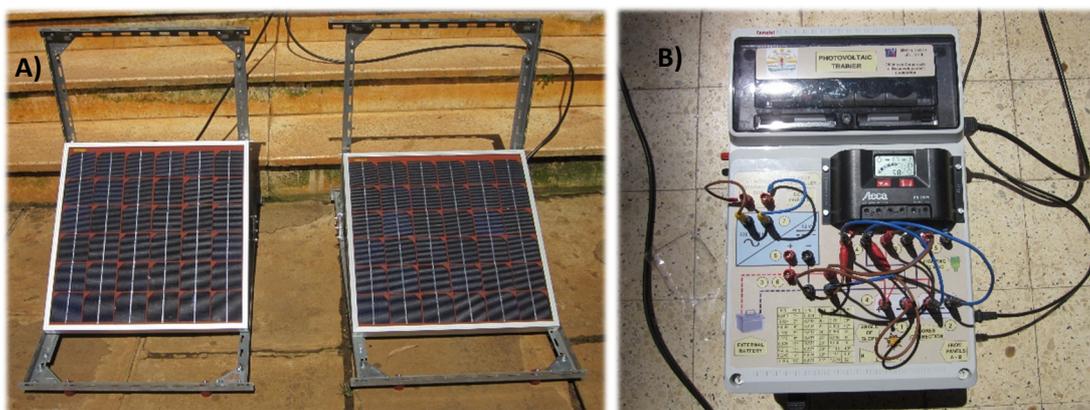


Figura 11. A) Paneles fotovoltaicos. B) Caja de control de los paneles fotovoltaicos.

Fuente: Propia

Cálculos del funcionamiento del sistema

El bombeo fotovoltaico junto con la canalización del agua hasta la red de riego generan que el agricultor apenas tenga que invertir tiempo y esfuerzo en la tarea costosa del riego. No obstante, para ratificar que el diseño planteado es viable, a continuación se muestran los cálculos que lo corroboran.

Para ello, antes de comenzar se deben conocer las características del pozo, de los paneles solares, de la bomba y de las tuberías.

Pues bien, el pozo del cual se extrae el agua, tiene una profundidad máxima de 12 metros, variando el nivel del agua entre los 6 y 7 metros de profundidad durante todo el año.

Cada placa fotovoltaica tiene una potencia máxima de 30W, por lo tanto como se poseen dos placas, se tiene una potencia total de 60W. Es importante saber que los paneles solares se deberán conectar en serie para que el voltaje se duplique, ya que un motor necesita como mínimo 30V para funcionar y los paneles son de 16V. Además, la inclinación de los paneles solares recomendada para esta zona en esta época del año es de 27° aproximadamente⁶. En la Figura 12 se muestran las características de los paneles solares extraídas de su manual de uso.



Figura 12. Características técnicas de los paneles fotovoltaicos

Fuente: Propia

Para la selección de la bomba se deben tener en cuenta diversos factores. En primer lugar la potencia de la que se dispone (60W), en segundo lugar la altura de bombeo, y en tercer lugar la irradiancia de la zona donde se colocarán los paneles solares.

La radiación es el sumatorio de las irradiancias de un día, dependiendo el bombeo directamente de ésta. La irradiancia es la potencia incidente por unidad de superficie de la radiación solar, y varía en función de las horas del día, de tal forma que cuando los paneles reciban irradiancias que alcancen valores de 1000 W/m² la potencia eléctrica a la que trabajará la bomba será máxima, es decir, en este caso 60W. A medida que la irradiancia disminuye también lo hace la potencia de la bomba. En función la altura de bombeo y del modelo de bomba seleccionado, ésta será capaz de extraer un caudal u otro a diferentes potencias, datos que se muestran en la gráfica de funcionamiento de cada bomba proporcionada por el fabricante.

⁶ Dato ofrecido por Aritz Carrera Barrio (Estudiante de Ingeniería Eléctrica que ha diseñado un proyecto de bombeo fotovoltaico para riego por goteo a gran escala en Etiopía, bajo el programa Prácticas Solidarias en Países Empobrecidos)

Así pues, la bomba seleccionada es el modelo SQF 1.2-2 de la empresa GRUNDFOS con potencia para bombear 15 m de altura, cuya gráfica de funcionamiento se muestra en la Figura 13.

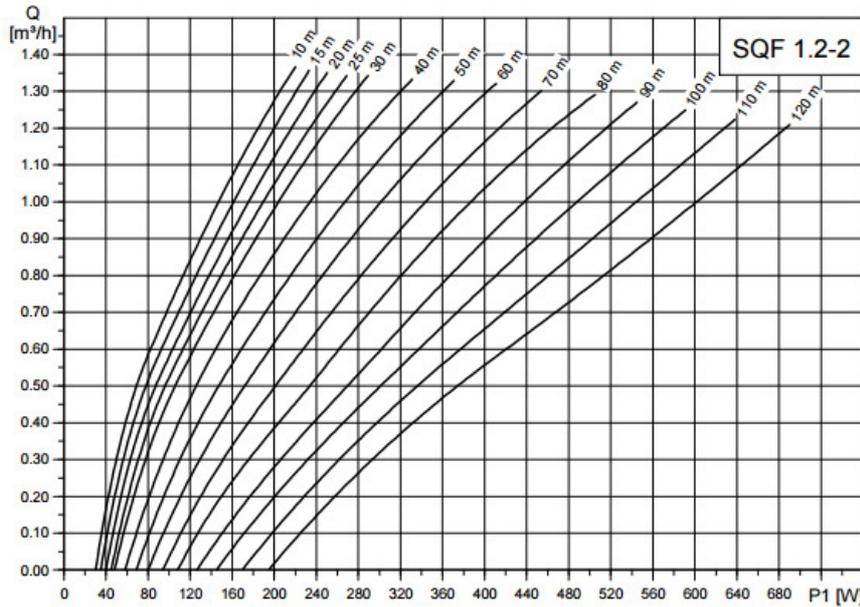


Figura 13. Gráfica de funcionamiento de la bomba SQF 1.2-2

Fuente: GRUNDFOS (2013)

Por último, para saber la altura que debe superar la bomba y después el caudal que llegará a los emisores, es imprescindible calcular las pérdidas en las tuberías. A continuación se presentan los cálculos oportunos.

Cálculo de las pérdidas

En primer lugar, se requiere conocer el marco de riego empleado que como se ha explicado en los apartados 2.1 y 2.2 se toma como modelo el marco de riego propuesto en el Aneso VII para patata:

- $S_L = 1,4 \text{ m} \rightarrow$ lo que supone 7 laterales
- $S_e = 0,3 \text{ m} \rightarrow$ se colocarían 67 emisores por cada lateral

Además, es esencial tener una idea clara de las longitudes y diámetros de cada una de ellas. Con este objetivo se ha confeccionado la Tabla 7.

NOMBRE TUBERÍA	CONEXIÓN	LONGITUD (m)	DIÁMETRO (mm)
Tubería pozo	Bomba-Depósito	12	$\varnothing_{ext}75 \text{ mm}, \varnothing_{int}63,5 \text{ mm}$
Tubería principal	Depósito-Tubería terciaria	50	$\varnothing_{ext}32 \text{ mm}, \varnothing_{int}29 \text{ mm}$
Tubería terciaria	Tubería principal-Laterales	9,5	$\varnothing_{ext}32 \text{ mm}, \varnothing_{int}29 \text{ mm}$
Laterales	Tubería terciaria-Cultivo	20 x 7 laterales	$\varnothing_{ext}16 \text{ mm}, \varnothing_{int}13,8 \text{ mm}$

Tabla 7. Dimensiones de las tuberías que componen la alternativa 3.

Con estos datos y utilizando los métodos de cálculo propuestos en el apartado 1.3, las pérdidas quedarían de la siguiente manera:

PÉRDIDAS TUBERÍA POZO

Para su cálculo se utiliza el Método del coeficiente mayorante, en el que se toman las pérdidas menores como un 20% de las pérdidas continuas. Sabiendo que puede llenarse el depósito, cuya capacidad es para dos riegos, que el caudal teórico saliente por los emisores es de 2,8 l/h, que la distribución en la parcela son 7 laterales con 67 emisores cada uno, y aplicando la Ecuación 6:

$$h_{\text{pozo}} = 1,2 \cdot 0,450 \cdot 12\text{m} \cdot \frac{(2 \cdot 2,8 \text{ l/h} \cdot 7 \text{ laterales} \cdot 67 \text{ emisores})^{1,75}}{63,5^{4,75}}$$

$$h_{\text{pozo}} = 0,017 \text{ mca}$$

PÉRDIDAS TUBERÍA PRINCIPAL

También se emplea el Método del coeficiente mayorante, tomando las pérdidas menores como un 20% de las continuas. Puesto que las características son las mismas que se emplean para la tubería principal en la alternativa 2, se muestra solo el resultado (para ver el procedimiento de cálculo ir al apartado 2.2—*Cálculo de las pérdidas*)

$$h_{\text{principal}} = 0,875 \text{ mca}$$

PÉRDIDAS TUBERÍA TERCIARIA

Por tratarse de una tubería con derivaciones, se emplea el Método del coeficiente mayorante al que se le debe añadir el Factor de Christiansen (ver apartado 1.3).

Dado que las características de la tubería terciaria, laterales y el marco de riego modelo que se toma son idénticos a los de la alternativa 1 y 2, se presenta solo el resultado (para ver el procedimiento de cálculo ir al apartado 2.1—*Cálculo de pérdidas*)

$$h_{\text{terciaria}} = 0,010 \text{ mca}$$

PÉRDIDAS LATERALES

En este caso puesto que las características del lateral son idénticas a las del diseño realizado por la BDU, el cálculo es el mismo (ver apartado 1.3).

$$h_{\text{lateral}} = 0,216 \text{ mca}$$

PÉRDIDAS TOTALES

$$h_{TOTALES} = h_{pozo} + h_{principal} + h_{terciaria} + h_{lateral}$$

$$h_{TOTALES} = 0,017 + 0,875 + 0,010 + 0,216 = 1,118 \text{ mca}$$

$$h_{TOTALES} = 1,118 \text{ mca}$$

Cálculo altura de bombeo

La altura de bombeo (h_{bomba}) es la suma de la altura geométrica que debe salvar la bomba junto con las pérdidas que se producen en la tubería que conecta la bomba con el depósito (denominada "tubería pozo"). Puesto que las bombas suelen tener tamaños de 1 metro y es aconsejable dejar otro metro entre la bomba y el fondo del pozo, teniendo en cuenta que la profundidad del pozo es de 12 metros, la bomba se colocará a 10 metros de profundidad. Por otro lado, el depósito se colocará a unos 2 metros del pozo, por tanto la longitud total aproximada de la tubería será de 12 metros.

Así pues, el cálculo de la altura se obtiene aplicando la Ecuación 14. Teniendo en cuenta que el pozo y el depósito se encuentran a presión atmosférica (1 atm), que el parámetro de velocidad se omite por ser muy pequeño y no repercute en el resultado final, que se toma como cota cero la posición de la bomba y que desde la superficie hasta el depósito existe una altura de 1,92 metros, la altura de bombeo es la siguiente:

$$h_{bomba} = 11,92\text{m} + 1\text{atm} - 1\text{atm} + 0,017\text{mca}$$

$$h_{bomba} = 11,93 \text{ mca}$$

Con una altura de bombeo de 11,93 mca, se explica que la bomba seleccionada haya sido aquella capaz de bombear 15 m de altura.

Cálculo del caudal que extrae la bomba con irradiancia 1000 W/m²

La radiación en Enero es de las mejores del año en Etiopía, con una irradiancia media mensual diaria de 7,6 (KWh/m²)⁶. Puesto que las necesidades de riego máximas para el cultivo más exigente y las fechas planteadas en el presente proyecto se dan en este mes (ver apartado 2 del Anexo V), se debe conseguir una bomba y paneles fotovoltaicos capaces de extraer el volumen de agua requerido para el día de mayor demanda, de tal forma que se asegure así la extracción del agua para el resto de días.

Para comprobar que la bomba seleccionada y los paneles de los que se dispone darían lugar a un funcionamiento eficiente, se emplean las siguientes ecuaciones (DOMÍNGUEZ-PALACIOS, 2011):

$$P_p \text{ (KWp)} = \frac{E_h \left(\frac{\text{KWh}}{\text{d}} \right) \cdot G_{STC} \left(\frac{\text{KW}}{\text{m}^2} \right)}{\eta_{mb} \cdot F_m \cdot F_t \cdot G_d}$$

Ecuación 18

P_p (KW) = Potencia necesaria para desarrollar la energía hidráulica
 $E_{h,d}$ (KWh) = Energía hidráulica diaria del sistema
 $G_{d, \text{enero}}$ (KWh/(m²d)) = Irradiación media mensual diaria = 7,6
 η_{mb} (°/1) = Rendimiento medio diario del conjunto motorbomba = 0,4 (°/1)
 F_m (°/1) = Factor de acoplo medio = 0,95
 F_t (°/1) = Factor de corrección de la temperatura = 0,775

$$E_h \text{ (KWh/d)} = \frac{P}{t} = \frac{\rho \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot g \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \cdot Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \cdot h(\text{m}) \cdot \frac{1 \text{ KW h}}{3.600.000 \text{ J}}}{t \text{ (1 d)}}$$

Ecuación 19

P (KW) = Potencia necesaria para desarrollar la energía hidráulica
 $E_{h,d}$ (KWh) = Energía hidráulica diaria del sistema
 ρ (Kg/m³) = Densidad del agua (1000 Kg/m³)
 g (m/s²) = Aceleración gravitatoria terrestre = 9,81 (m/s²)
 Q (m³/d) = Caudal de fluido a impulsar
 h (m) = Altura de impulsión (geométrica, más pérdidas de carga)

Conociendo que se dispone de 60W de potencia y que se requeriría por lo menos un caudal diario de 1300L para abastecer a los cultivos durante los días críticos, el objetivo es comprobar que el parámetro Q de la Ecuación 19 es igual o superior a este volumen. Para ello, en primer lugar, debe calcularse la energía hidráulica diaria del sistema utilizando la Ecuación 18:

$$0,06 \text{ KW} = \frac{E_h(\text{KWh/d}) \cdot 1 \text{ (KW/m}^2\text{)}}{0,4(^{\circ}/1) \cdot 0,95(^{\circ}/1) \cdot 0,775(^{\circ}/1) \cdot 7,6(\text{KWh}/(\text{m}^2\text{d}))}$$

Por tanto:

$$E_h = 0,134 \text{ KWh/d}$$

Con este valor y la altura de bombeo calculada en el apartado anterior, aplicando la Ecuación 19, se obtiene el caudal que sería capaz de extraer la bomba si la irradiancia fuese durante todo el día 1000 W/m²:

$$0,134 \text{ KWh/d} = \frac{1000 \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)} \cdot Q \text{ (m}^3\text{)} \cdot 11,93 \text{ (m)} \cdot \frac{1 \text{ KW h}}{3.600.000 \text{ J}}}{1 \text{ d}}$$

Por tanto:

$$Q = 4,12 \text{ m}^3 = 4.121,9 \text{ L}$$

Es decir, la bomba seleccionada tiene capacidad para sacar 4.121,9 L de agua del pozo en caso de que tanto durante el día como durante la noche los paneles solares recibieran una irradiancia de 1000 W/m². Sin embargo, esta situación no es real, de modo que se debe ajustar a los valores reales de irradiancia.

Cálculo del caudal que extrae la bomba con irradiancia real

Como se ha dicho, la irradiancia varía a lo largo del día en función de la potencia con la que la radiación solar incide sobre la superficie terrestre. De la variación de irradiancia dependerá la potencia a la que trabaje el sistema de bombeo fotovoltaico, y en función de la potencia a la que trabaje se bombearán unos caudales u otros, como se aprecia en la Figura 9.

Así pues, en la Figura 14 se muestra la irradiancia mensual media diaria en el mes de Enero.

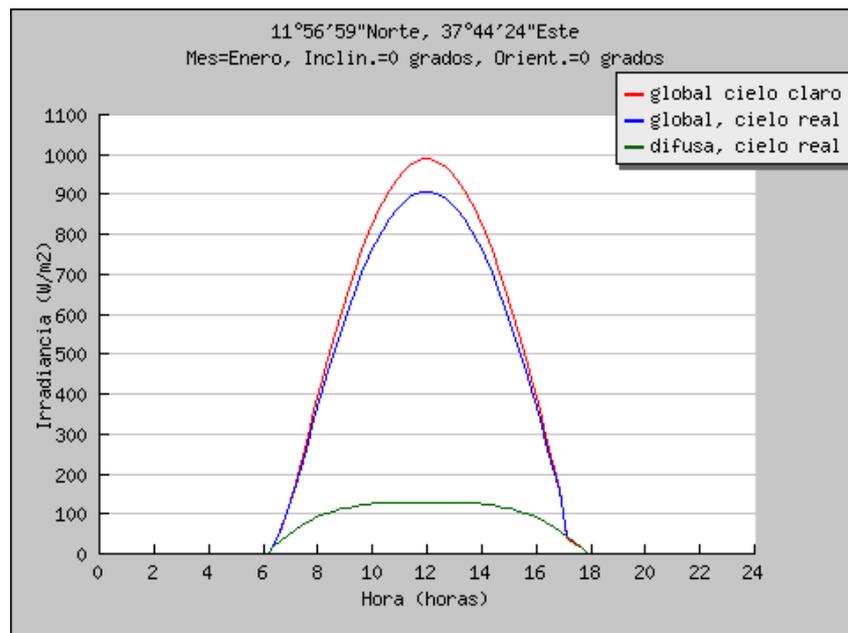


Figura 14. Irradiancia mensual media diaria en el mes de Enero

Fuente: PVGIS

Como cabía esperar, la irradiancia global con el cielo real comienza a aumentar desde que amanece, alcanzando su punto más elevado en las horas centrales del día y finalizando con el ocaso.

Pues bien, para saber con exactitud qué caudal podrá sacar la bomba durante un día modelo de enero, se van a tomar las horas que tienen la misma irradiancia, obteniendo a partir de esta la potencia a la que trabajarán los paneles solares y después con esa potencia, dirigiéndose a la Figura 13 se obtendrá el caudal capaz de extraer la bomba.

Así pues, observando la Figura 13 y 14 se ha generado la Tabla 8, en la que se muestra el número de horas al día con un valor determinado de irradiancia, la potencia con esa irradiancia, el caudal capaz de extraer la bomba con esa potencia y el caudal extraído durante esas horas.

VALOR DE IRRADIANCIA (W/m²)	% DE IRRADIANCIA	Nº DE HORAS	POTENCIA (W)	Q bomba (m³/h)	Q extraído (m³/h)
900	90 %	3	54	0,27	0,81
800	80 %	1	48	0,2	0,2
700	70 %	2	42	0,14	0,28
600	60 %	1	36	0,05	0,05
				Q_{TOTAL} = 1,34 m³	

Tabla 8. Caudales en función de las irradiancias

A partir de valores menores de 600W de irradiancia, la potencia del sistema fotovoltaico desciende a valores en los que no es capaz de bombear caudal (ver Figura 13). Así pues, se obtiene que el caudal bombeado por día podría alcanzar los 1.340 L. Teniendo en cuenta que el cultivo más exigente (tomate) en los días críticos requiere 1.272,5 L (ver apartado 2 del Anexo V), el diseño de la tercera alternativa es capaz de abastecer adecuadamente las necesidades hídricas de los cultivo y por tanto se podría concluir que se trata de un sistema eficiente.

No obstante, en la vida real existen caídas de tensión por temperatura, además de que 70 L de margen es bastante bajo, y en caso de que se dieran días nublados cabe la posibilidad de que no se bombeara la demanda necesaria. Por esta razón una solución viable sería comprar dos paneles fotovoltaicos más, iguales a los que se utilizan. Esto generaría que la potencia del sistema en vez de 60 W fuese de 120 W, y con esta potencia como se observa en la Figura 13, el caudal aumentaría a más del doble.

La compra de dos paneles fotovoltaicos más no acarrearía un coste elevado, ya que este tipo de paneles son muy económicos, cuyo precio ronda 1€/W, es decir, supondría alrededor de 30€ cada panel, porque son de 30W.

Incluso, dado que los profesores de la UJI implicados en estos trabajos han solicitado más proyectos de cooperación con BDU, en caso de que estos fuesen aceptados, cabría la posibilidad de que se pudieran donar más kits fotovoltaicos, de modo que no supondría ningún coste adicional.

Cálculo del tiempo empleado al riego

Con esta alternativa el tiempo dedicado a la actividad del riego se reduce al máximo, siendo únicamente necesario la apertura de la válvula control para que comience el riego y posteriormente el cerrado de la misma. No obstante, mientras se produce el riego, el agricultor puede realizar otras tareas, de tal forma que el tiempo de riego quedaría reducido a minutos.

3. BIBLIOGRAFÍA

DOMÍNGUEZ-PALACIOS, A. C, (2011). “Proyecto de sistema de bombeo fotovoltaico a depósito, para consumo humano y abrevadero, en Gurmudele, Etiopía” pp.29-31. Proyecto Final de Carrera. Andalucía: Universidad Internacional de Andalucía.

https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwil-PXZhc KAhUCPxQKHri8AFwQFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fspace.unia.es%2Fbitstream%2Fhandle%2F10334%2F1804%2F0127_DominguezPalacios.pdf%3Fsequence%3D1&usg=AFQjCNFLLWWgsjczOERrLPaaNMLSOrZO9A&bvm=bv.113034660,d.d24
(29/01/2016)

GRUNDFOS, (2013),

<http://www.nucleosolar.com.ar/docs/Grundfosliterature-335.pdf> (29/01/2016)

HERNÁNDEZ LÓPEZ, L., (2014a). “Tema 2: Equipo en los sistemas de riego a presión. Parte 2” en *Aula Virtual UJI, Apuntes AG1034-Riegos y Drenajes (2014/2015)* (25/01/2016)

HERNÁNDEZ LÓPEZ, L., (2014b). “Tema 3: Diseño hidráulico de redes a presión. Parte 1” en *Aula Virtual UJI, Apuntes AG1034-Riegos y Drenajes (2014/2015)* (25/01/2016)

IRRITEC, (2014). Modelo: Línea de gotero multi-estacional DP Line, en *Catálogo de productos y lista de precios, Febrero 2014*.

<http://www.irritec.it/es/pdf/TarifaPrecios.pdf> (15/01/2016)

PVGIS, (2016),

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa> (29/01/2016)



ANEXO VII

MARCOS DE PLANTACIÓN

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. MARCOS DE PLANTACIÓN UTILIZANDO EL MATERIAL EXISTENTE.....	3
3. PROPUESTAS DE MARCOS DE PLANTACIÓN CON MATERIAL NUEVO	10
3.1 SOBRECOSTE DE LOS NUEVOS MARCOS DE PLANTACIÓN	15
4. BIBLIOGRAFÍA	16

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la necesidad por establecer unos macos de plantación que se adecuaran a cada uno de los tres cultivos, se me encomendó la tarea de hacerlo.

Como se menciona en el trabajo, Bahir Dar University compró el material para llevar a cabo su proyecto sin antes definir los marcos de plantación. Como consecuencia de ello, se compraron grandes cantidades de laterales con emisores integrados a una única distancia (0,3 m).

Frente a esta situación se plantean dos casos:

- 1) Reutilizar el material actual y adaptarlo a marcos de plantación admisibles.
- 2) Proponer otras separaciones entre emisores, lo cual supondría la compra de material nuevo e incrementaría el coste de la instalación.

Puesto que lo que se quiere conseguir es crear un diseño eficiente al menor coste posible, se intentará proponer una configuración de marco de plantación que se adecue al material existente. No obstante, se plantea también la configuración más adecuada para el caso de compra del material nuevo.

2. MARCOS DE PLANTACIÓN UTILIZANDO EL MATERIAL EXISTENTE

Para establecer marcos de plantación correctos, se requiere definir la separación entre emisores y la separación entre laterales. En las propuestas siguientes se emplea el material existente, y por tanto la distancia entre emisores no es modificable, sino que se establece fija en 0,3 m.

Así pues, los datos precisos para el cálculo son:

- Textura del suelo: arcillosa (ver apartado 2.2 del Anexo III)
- Caudal de los emisores (q_e): 2,8 l/h
- Para evitar acumulación de sales entre bulbos y garantizar que la mayor parte del terreno está húmeda se ha de imponer un % de solape mínimo: 15-20%
- Al tratarse de cultivos hortícolas donde la densidad de cultivo es elevada, la superficie de suelo mojado (P) que se recomienda es entre 70-90%.
- Separación entre emisores se mantiene fija: $S_e = 0,3$ m.

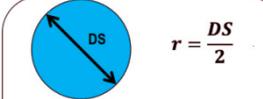
En primer lugar, se procede a comprobar que con $S_e = 0,3$ m se cumple el porcentaje de solape. Puesto que este valor depende de la distancia entre los emisores y de las características del suelo, y éstas son las mismas para los tres cultivos, el % de solape será el mismo.

$$Se, \max[m] = r \cdot \left(2 - \frac{a}{100}\right)$$

Ecuación 1

r = Radio de suelo mojado en función de la textura

a = % de solape



Textura	Diámetro mojado, DS [m]
Arenoso	DS [m] = 0,3 + 0,12 * q _e [l/h]
Franco	DS [m] = 0,7 + 0,11 * q _e [l/h]
Arcilloso	DS [m] = 1,2 + 0,1 * q _e [l/h]

Tabla 1. Diámetro mojado.

Fuente: HERNÁNDEZ (2014)

Por tanto:

$$0,3 = 0,7 \cdot \left(2 - \frac{a}{100}\right) \rightarrow a = 159,46 \%$$

$$r = \frac{DS(\text{arcilloso})}{2} = \frac{1,2 + 0,1 \cdot 2,8}{2} = 0,7 \text{ m}$$

Se ha obtenido un % de solape mucho más elevado del valor mínimo recomendado porque se trata de suelo arcilloso, cuyo bulbo húmedo tiende a extenderse en horizontal debido a las características del suelo. Un solape del 159 % quiere decir que se solapan de forma parecida a la Figura 1, y tiene como consecuencia un elevado consumo de agua.

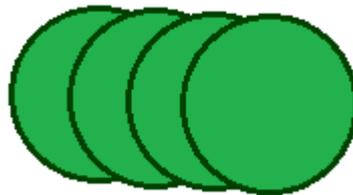


Figura 1. Solape entre bulbos

Fuente: Propia

Una vez calculado el % de solape, se calcula el porcentaje de suelo mojado (P), que dependerá también de la separación entre laterales y deberá estar entre 70 y 90 %.

$$P = \frac{\text{Superficie Regada}}{\text{Superficie a regar}} \cdot 100$$

Ecuación 2

Pero en el cálculo de la superficie regada se debe incluir el % de solape real, y para ello se emplean las siguientes ecuaciones (HERNÁNDEZ, 2014):

$$\text{Superficie regada} = n_e \cdot A = n_e \cdot \left[\pi - 2 \cdot \left(\alpha - \left(1 - \frac{a}{200} \right) \cdot \text{sen} \alpha \right) \right] \left(\frac{DS}{2} \right)^2$$

Ecuación 3

n_e = nº de emisores [emisores/m²]

A = Área regada

$$\alpha = \arctg \sqrt{\frac{1}{\left(1 - \frac{a}{200}\right)^2} - 1}$$

Ecuación 4

$$n_e = \frac{1}{S_e \cdot S_L}$$

Ecuación 5

 S_e = Separación entre emisores S_L = Separación entre laterales

A continuación se presentan diferentes posibles configuraciones de marcos de riego en función del cultivo:

PATATA

El marco de plantación recomendado para patata según las características anatómicas de la planta es de 0,20-0,25 m entre plantas y 0,75-0,8 m entre filas (ROSELLÓ, 2014a). Como por defecto, la distancia entre emisores es de 0,3 m, para facilitar los cálculos se impone lo siguiente:

- Separación entre plantas de 0,3 m
- Separación entre filas de plantas de 0,7 m

- **Configuración 1: el marco de riego es igual al marco de plantación**

$S_L = 0,7 \rightarrow$ puesto que la parcela tiene 10 m de ancho se colocarían 14 laterales

$S_e = 0,3 \rightarrow$ puesto que la parcela tiene 20 m de largo se colocarían 67 emisores

% solape = 159,46

Aplicando la Ecuación 5:

$n_e = 4,76$ emisores/m²

Con la Ecuación 4 se obtiene:

$\alpha = 1,36$

Con la Ecuación 3 se obtiene:

Superficie regada = 2,13 m²

Por tanto, aplicando la Ecuación 2:

$$P = \frac{2,13}{1 \text{ m}^2} \cdot 100 = 213 \% \quad \leftarrow \text{No apto}$$

Como era de esperar el porcentaje de suelo mojado es elevado, esto quiere decir que el consumo de agua se dispara, siendo las aportaciones hídricas mayores a las requeridas por el

cultivo. Este hecho podría tener consecuencias sobre el sistema radicular de las plantas, causando asfixia o podredumbre en las raíces.

Si el exceso de agua no pusiera en riesgo el desarrollo de las plantas, sería una opción válida puesto que el consumo de agua no es crítico en la zona en la que se trabaja.

Sin embargo, puesto que P es demasiado elevado, pudiendo causar daños sobre el cultivo y además el objetivo de optimización del agua no se cumpliría, se propone a continuación otra configuración en la que el marco de plantación y el marco de riego no coinciden.

- **Configuración 2: el marco de riego es diferente al marco de plantación**

$S_L = 1,4$ → puesto que la parcela tiene 10 m de ancho se colocarían 7 laterales

$S_e = 0,3$ → puesto que la parcela tiene 20 m de largo se colocarían 67 emisores

$$\% \text{ solape} = 159,46$$

Aplicando la Ecuación 5:

$$n_e = 2,38 \text{ emisores/m}^2$$

Con el Ecuación 4 se obtiene:

$$\alpha = 1,36$$

Con la Ecuación 3 se obtiene:

$$\text{Superficie regada} = 1,06 \text{ m}^2$$

Por tanto, aplicando la Ecuación 2:

$$P = \frac{1,06}{1 \text{ m}^2} \cdot 100 = \mathbf{106 \%}$$

En esta configuración el P aunque es superior al recomendado, no es un valor desmesurado y por tanto se desecha mucha menos agua. Teniendo en cuenta que durante la época en la que se suministra el riego las temperaturas son elevadas y la evapotranspiración es mayor, un 16% más de agua en el suelo no sería crítico para el desarrollo de anomalías en las plantas.

No merece la pena probar con otras configuraciones, pues a más separación entre laterales, no se producirá solape de bulbos entre filas y en consecuencia se darán problemas de acumulación de sales.

El esquema de plantación sería:

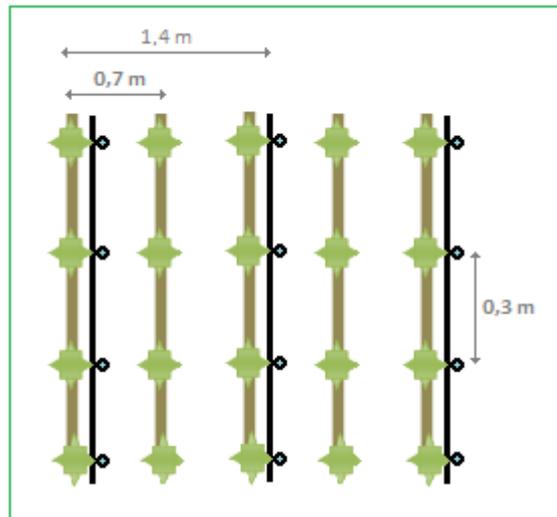


Figura 2. Marco de plantación de patata
Fuente: Propia

TOMATE

El marco de plantación recomendado para tomate cultivado al aire libre sin entutorar a una hilera es de 0,25-0,35 m entre plantas y 1,40-1,9 m entre filas (ROSELLÓ, 2014b). Puesto que se quiere aprovechar el material comprado por Bahir Dar University, se establece fija la distancia entre emisores que será de 0,3 metros y se modificará la distancia entre filas para que el marco de riego sea adecuado.

El marco de plantación establecido para tomate será de:

- Separación entre plantas 0,3 m
- Separación entre filas de plantas 1,6 m

- **Configuración 1: el marco de riego es igual al marco de plantación**

$S_L = 1,6 \rightarrow$ la parcela tiene 10 m de ancho, por tanto, se colocarían 6 laterales

$S_e = 0,3 \rightarrow$ la parcela tiene 20 m, por tanto, habrá 67 emisores

$$\% \text{ solape} = 159,46$$

Aplicando la Ecuación 5:

$$n_e = 2,08 \text{ emisores/m}^2$$

Con el Ecuación 4 se obtiene:

$$\alpha = 1,36$$

Con la Ecuación 3 se obtiene:

$$\text{Superficie regada} = 0,93 \text{ m}^2$$

Por tanto, aplicando la Ecuación 2:

$$P = \frac{0,93}{1 \text{ m}^2} \cdot 100 = 93,2 \%$$

Sobre pasa en un 3% el valor recomendado del porcentaje de suelo mojado, pero se encuentra dentro de un rango óptimo. Por tanto, puesto que esta es la configuración más cómoda y sencilla que además cumple los requisitos, no es necesario continuar probando otras.

El esquema general de plantación sería:

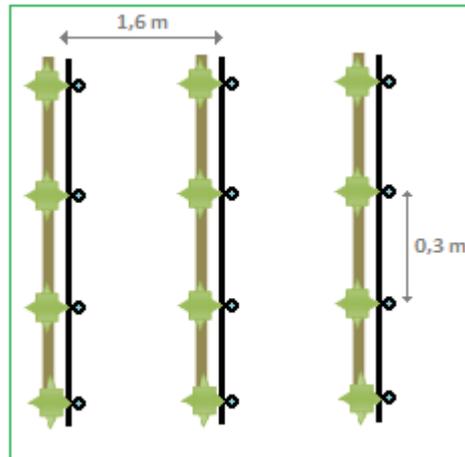


Figura 3. Marco de plantación del tomate

Fuente: Propia

CEBOLLA

El marco de plantación recomendado para cebolla cultivado en hileras pareadas es de 0,20-0,25 m entre plantas y 0,7-0,8 m entre filas (ROSELLÓ, 2014c). Debido a que uno de los objetivos es aprovechar el material existente, se deben alterar mínimamente estas recomendaciones por lo que respecta a la separación entre plantas. Así pues, se establece fija la distancia entre plantas 0,3 metros y se modificará la distancia entre filas para que el marco de riego sea adecuado.

El diseño de plantación en cebolla difiere respecto a los dos cultivos anteriores. En cebolla se colocará un lateral entre dos filas de plantas, como si formaran una isleta. Esta isleta se separará de otra una distancia de 0,7 m (valor recomendado). A cada isleta de dos filas se le tratará como si fuese una única fila en los cálculos siguientes.

De este modo el marco de plantación para cebolla, que no tiene por qué coincidir con el marco de riego, será:

- Separación entre plantas en una fila: 0,3 m
- Separación entre filas en una misma isleta: 0,2 m
- Separación entre isletas: 0,7 m

- **Configuración 1: el marco de riego es igual al marco de plantación**

$S_L = 0,7 \rightarrow$ la parcela tiene 10 m de ancho, por tanto, se colocarían 14 laterales

$S_e = 0,3 \rightarrow$ la parcela tiene 20 m, por tanto, habrá 67 emisores

$$\% \text{ solape} = 159,46$$

Aplicando la Ecuación 5:

$$n_e = 4,76 \text{ emisores/m}^2$$

Con la Ecuación 4 se obtiene:

$$\alpha = 1,36$$

Con la Ecuación 3 se obtiene:

$$\text{Superficie regada} = 2,13 \text{ m}^2$$

Por tanto, aplicando la Ecuación 2:

$$P = \frac{2,13}{1 \text{ m}^2} \cdot 100 = 213 \% \leftarrow \text{No apto}$$

Como se explica en el apartado de la patata, este P tan elevado puede dañar los bulbos, además de que la optimización del agua es nula. Por esta razón, a continuación se propone otra configuración diferente en las que el marco de plantación y el marco de riego no coinciden, no siendo por ello peores.

- **Configuración 2: el marco de riego es diferente al marco de plantación**

$S_L = 1,4 \rightarrow$ puesto que la parcela tiene 10 m de ancho se colocarían 7 laterales

$S_e = 0,3 \rightarrow$ puesto que la parcela tiene 20 m de largo se colocarían 67 emisores

$$\% \text{ solape} = 159,46$$

Aplicando la Ecuación 5:

$$n_e = 2,38 \text{ emisores/m}^2$$

Con el Ecuación 4 se obtiene:

$$\alpha = 1,36$$

Con la Ecuación 3 se obtiene:

$$\text{Superficie regada} = 1,06 \text{ m}^2$$

Por tanto, aplicando la Ecuación 2:

$$P = \frac{1,06}{1 \text{ m}^2} \cdot 100 = \mathbf{106 \%}$$

Al igual que ocurría en el caso de la patata, este P es superior al recomendado, no obstante no es exagerado, y dadas las condiciones climáticas en la época en la que se aplica el riego, no sería un valor tan elevado para que se desarrollaran patologías u anomalías. Por esta razón, se concluye que esta configuración sería la más óptima para el cultivo de cebolla.

El esquema general de plantación sería:

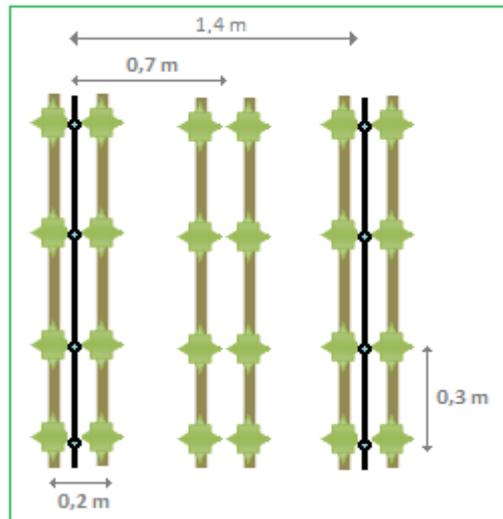


Figura 4. Marco de plantación de cebolla

Fuente: Propia

3. PROPUESTAS DE MARCOS DE PLANTACIÓN CON MATERIAL NUEVO

En el apartado anterior se han calculado los marcos de riego más apropiados conforme al material del que se dispone. Sin embargo, a pesar de que para el desarrollo del proyecto por parte de Bahir Dar University en *woreda* Fogera el agua no es un factor crítico, pues Etiopía goza de riqueza hídrica pero no existe concienciación de optimizarla, para el presente proyecto es un factor a tener en cuenta, ya que se cree conscientemente que debería cuidarse un recurso tan importante para la supervivencia del ser humano y tan escaso en otros países, como es el agua.

Este es el motivo por el cual seguidamente se plantean otras configuraciones de marcos de plantación, en los que el porcentaje de solape entre bulbos y el porcentaje de suelo mojado se ajusten a los rangos recomendados.

Las alternativas que se muestran no significan que sean mejores ni peores a las anteriormente citadas, simplemente son otras opciones. Después, Bahir Dar University deberá estimar la rentabilidad del sobrecoste que supone la compra de nuevo material frente a la menor optimización del agua.

Así pues las alternativas que se proponen son las siguientes:

PATATA

De acuerdo a los marcos de plantación recomendados citados anteriormente (ROSELLÓ, 2014a), se establece el siguiente marco:

- Separación entre plantas: 0,25 m
- Separación entre filas: 0,75 m

En esta ocasión el marco de plantación será diferente al marco de riego, puesto que, un emisor de 2,8 l/h en suelo arcilloso es capaz de mojar un diámetro de 1,48 metros, por tanto riega adecuadamente a varias plantas.

Así pues, con una separación entre emisores de 1,25 m ($S_e = 1,25\text{m}$), se va a comprobar, aplicando la Ecuación 1, si el % de suelo mojado se encuentra dentro del rango recomendado (15-20%):

$$1,25 = 0,7 \cdot \left(2 - \frac{\alpha}{100}\right) \rightarrow \alpha = 21,43 \%$$

$$r = \frac{DS(\text{arcilloso})}{2} = \frac{1,2 + 0,1 \cdot 2,8}{2} = 0,7 \text{ m}$$

El % de suelo mojado obtenido es 1,43% superior al recomendable, con lo cual es completamente admisible.

A continuación, se debe calcular el porcentaje de suelo mojado (P) con el solape obtenido. Para ello es imprescindible conocer la separación entre laterales, que en este caso será de 1,5 m. Este proceso se realiza empleando las siguientes ecuaciones:

Aplicando la Ecuación 5:

$$n_e = 0,53 \text{ emisores/m}^2$$

Con el Ecuación 4 se obtiene:

$$\alpha = 0,46$$

Con la Ecuación 3 se obtiene:

$$\text{Superficie regada} = 0,87 \text{ m}^2$$

Por tanto, aplicando la Ecuación 2:

$$P = 87 \%$$

El P obtenido se encuentra entre el 70 y 90% que eran los valores recomendados para cultivos hortícolas, por tanto, se trata de un marco de riego propicio.

Con esta configuración, el esquema general de plantación es el siguiente:

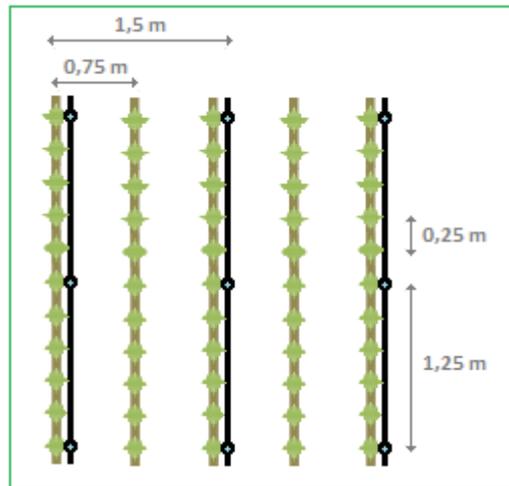


Figura 5. Marco de plantación de patata
Fuente: Propia

TOMATE

En la configuración hecha con el material existente el marco de plantación del tomate era el que más ajustaba el P a los valores recomendados. Sin embargo el % de solape continuaba siendo elevado, lo que significa que se desperdicia agua.

En este nuevo planteamiento del marco de riego, el objetivo es reducir el % de solape y en consecuencia el consumo de agua.

Conforme a los marcos recomendados de tomate expuestos en el apartado anterior (ROSELLÓ, 2014b), se establece el siguiente marco de plantación:

- Separación entre plantas 0,3 m
- Separación entre filas de plantas 1,6 m

Del mismo modo que ocurre en patata, el objetivo es optimizar el agua y para ello es esencial reducir el % de solape. Para conseguir eso, el marco de plantación deberá ser diferente al marco de riego.

Estableciendo una separación entre emisores de 1,2 m ($S_e = 1,2$ m) y aplicando la Ecuación 1:

$$1,2 = 0,7 \cdot \left(2 - \frac{a}{100}\right) \quad \rightarrow \quad a = 28,57 \%$$

$$r = \frac{DS(\text{arcilloso})}{2} = \frac{1,2 + 0,1 \cdot 2,8}{2} = 0,7 \text{ m}$$

Un % de solape del 28,57 %, no es alto y menos tratándose de cultivo de tomate que es exigente en agua.

El siguiente paso es calcular el P con el solape obtenido. Para dicho proceso se requiere conocer la separación entre laterales, que en esta ocasión se hará coincidir con las filas de plantas, es decir 1,6 m. El cálculo de P se hace utilizando las siguientes ecuaciones:

Aplicando la Ecuación 5:

$$n_e = 0,52 \text{ emisores/m}^2$$

Con el Ecuación 4 se obtiene:

$$\alpha = 0,54$$

Con la Ecuación 3 se obtiene:

$$\text{Superficie regada} = 0,84 \text{ m}^2$$

Por tanto, aplicando la Ecuación 2:

$$P = 84 \%$$

El valor de P se encuentra dentro del rango recomendado (70-90 %), por tanto esta configuración de riego es correcta.

El esquema general de plantación quedaría de la siguiente manera:

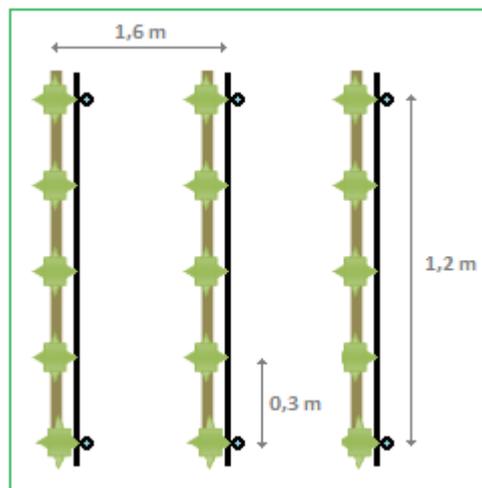


Figura 6. Marco de plantación del tomate

Fuente: Propia

CEBOLLA

Siguiendo las recomendaciones de marcos de plantación citadas anteriormente para el caso de cebolla (ROSELLÓ, 2014c), y continuando con la plantación en isletas, el marco de plantación designado para cebolla es:

- Separación entre plantas en una fila: 0,25 m
- Separación entre filas en una misma isleta: 0,2 m
- Separación entre isletas: 0,7 m

Del mismo modo que se planteaba antes, se colocará un lateral en cada isleta de plantas, situado entre el medio de las dos filas.

Para conseguir un % de solape cercano al 15-20 % se deberán separar los emisores mucho más que en el diseño planteado con el material existente. Puesto que la separación entre plantas es idéntica a la establecida para el cultivo de patata, y proponiendo una separación entre emisores de 1,25 m el % de solape era adecuado, se establece la misma separación. Así pues, con $S_e = 1,25$ m el % de solape será idéntico al del cultivo de patata:

$$1,25 = 0,7 \cdot \left(2 - \frac{a}{100}\right) \rightarrow \boxed{a = 21,43 \%}$$

$$r = \frac{DS(\text{arcilloso})}{2} = \frac{1,2+0,1 \cdot 2,8}{2} = 0,7 \text{ m}$$

Como se ha explicado para el caso de la patata, es un valor muy cercano al recomendado y por tanto válido.

Tras establecer un % de solape correcto, se procede a comprobar que con la separación entre laterales elegida el P se sitúa entre el rango recomendado (70-90%). Así pues, se implanta 1,4 m como la separación entre laterales, de modo que coincida con las líneas de plantas y no quede en el medio de dos isletas, lo cual podría molestar a la hora de llevar a cabo labores de cultivo. Para ello se sigue el siguiente método:

Aplicando la Ecuación 5:

$$n_e = 0,57 \text{ emisores/m}^2$$

Con el Ecuación 4 se obtiene:

$$\alpha = 0,46$$

Con la Ecuación 3 se obtiene:

$$\text{Superficie regada} = 0,94 \text{ m}^2$$

Por tanto, aplicando la Ecuación 2:

$$\boxed{P = 94 \%}$$

Aunque P sobrepase el valor recomendado, un 4% no es un valor crítico, con lo cual se concluye que es una configuración apropiada.

El esquema general de la plantación quedaría de la siguiente manera:

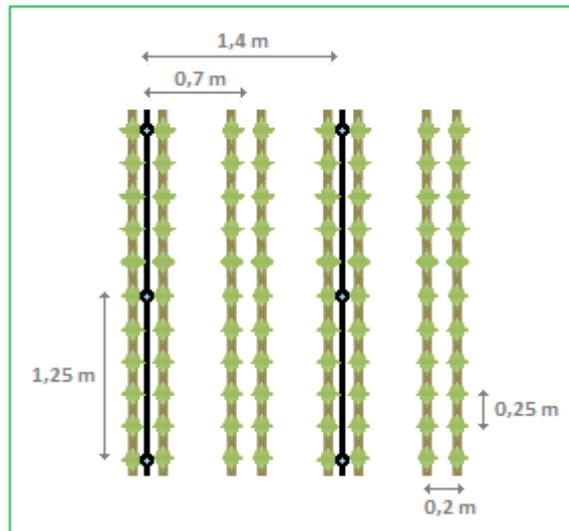


Figura 7. Marco de plantación de cebolla

Fuente: Propia

3.1 SOBRECOSTE DE LOS NUEVOS MARCOS DE PLANTACIÓN

Para el cálculo del sobrecoste es imprescindible saber el número de laterales que se colocarán en la parcela. Para ello, es suficiente con hacer una simple división entre los 10 metros que tiene la parcela de ancho y la distancia entre laterales obtenidas para cada cultivo en el apartado anterior.

Tras esta sencilla operación, como cabía esperar el resultado no es un número entero. Frente a esta situación siempre se debe redondear al alza para evitar reducir el porcentaje de suelo mojado en el suelo, ya que podría dar lugar a escasez de aportación de agua.

No obstante, en esta ocasión, para la cebolla se ha redondeado a la baja puesto que sobrepasaba solo un 0,1 y dado que el porcentaje de suelo mojado calculado también era superior al valor máximo recomendado, aunque éste se disminuya continúa estando dentro del rango recomendado.

Así pues, en los tres casos el número de laterales obtenido es de 7, de manera que teniendo en cuenta las dimensiones de la parcela (20 metros de longitud), el sobrecoste por la compra de nuevo material para establecer marcos de plantación más idóneos que permitan mejorar la optimización del agua supone un coste de 20,95€ por cultivo (ver apartado 7.4 de la Memoria). En el caso de que se comprara material para cada uno de los cultivos, representa un coste de 62,85€ (ver apartado 7.4 de la Memoria).

Si bien es cierto que en España, 62€ es una cantidad relativamente baja, que no supone un gran esfuerzo gastarlo, no ocurre lo mismo en el entorno de Etiopía. Como es ampliamente conocido, Etiopía es un país subdesarrollado, donde el sueldo medio ronda los 200 € al mes, con lo cual estas cantidades de dinero no se las pueden permitir en muchos casos.

4. BIBLIOGRAFÍA

HERNÁNDEZ LÓPEZ, L., (2014). "Tema 1: Fundamentos generales de riego" en *Aula Virtual UJI, Apuntes AG1034-Riegos y Drenajes (2014/2015)* (20/01/2016)

ROSELLÓ, S., (2014a). "Patata" en *AulaVirtual UJI, Apuntes AG1028-Horticultura (2013/2014)* (21/01/2016)

ROSELLÓ, S., (2014b). "Tomate" en *AulaVirtual UJI, Apuntes AG1028-Horticultura (2013/2014)* (21/01/2016)

ROSELLÓ, S., (2014c). "Cebolla" en *AulaVirtual UJI, Apuntes AG1028-Horticultura (2013/2014)* (21/01/2016)



ANEXO VIII

PLANOS



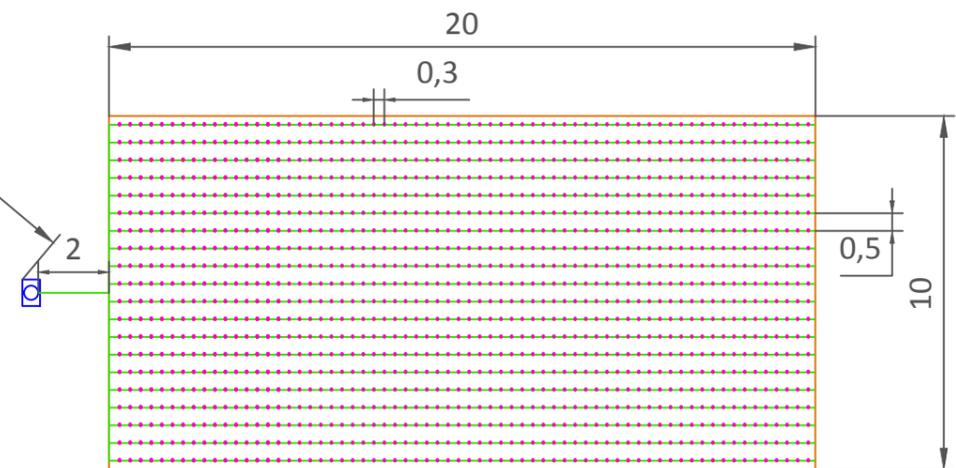
50

 Pozo

 Depósito y mesa

 Lateral con emisores

 Parcela



TFG	1:200	Plano de la situación inicial del sistema de riego por goteo	
	m		
UJI	Fecha: 02/2016	Torán Gascón, Inés	Nº Plano 1



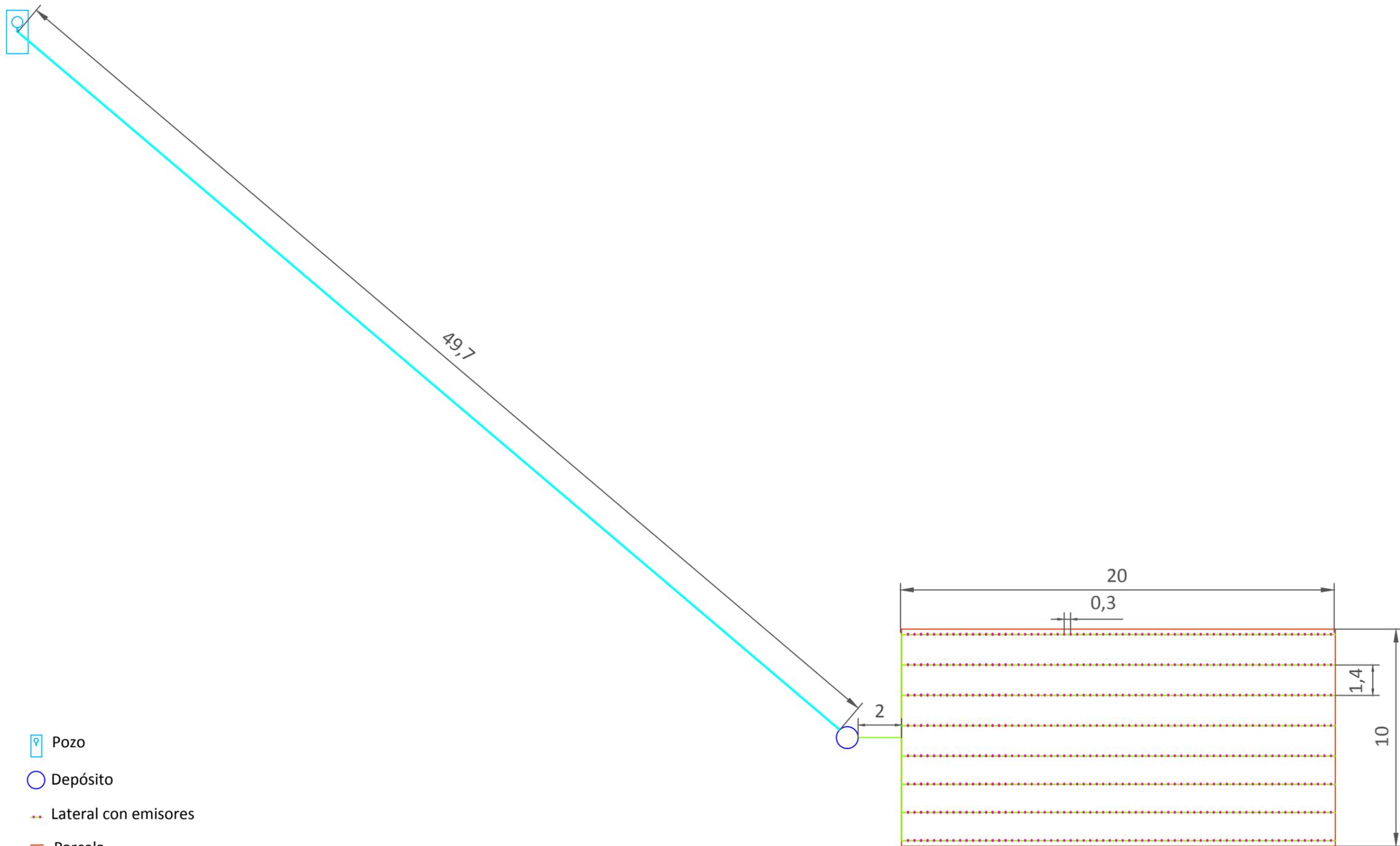
Pozo

Depósito

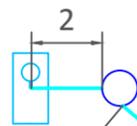
Lateral con emisores

Parcela

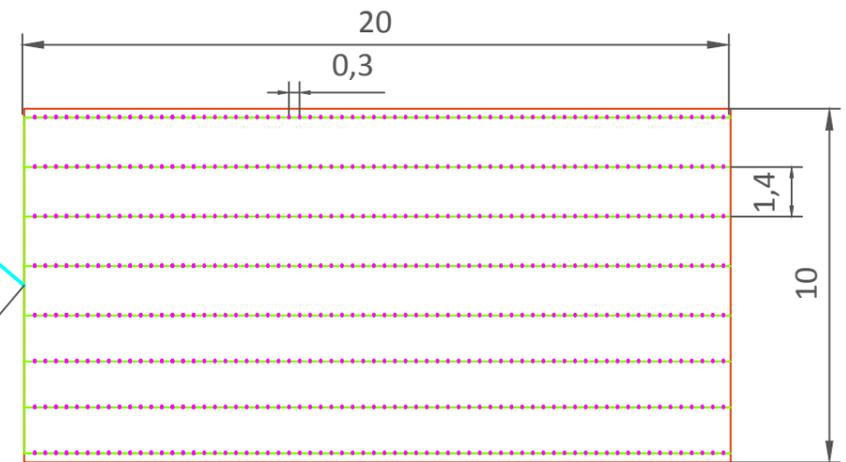
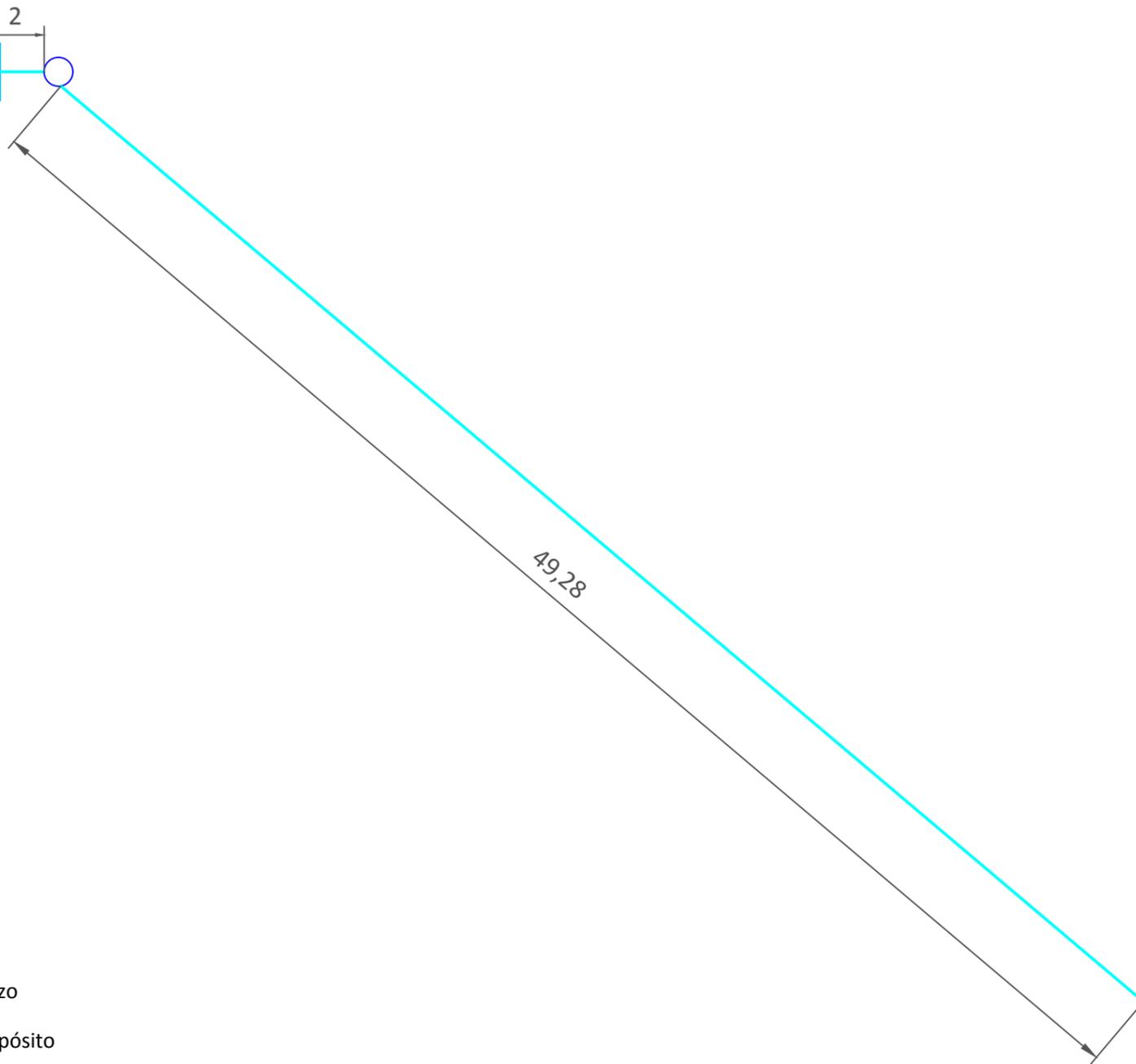
Tubería



TFG	1:200	Plano de la primera alternativa	
	m		
UJI	Fecha: 02/2016	Torán Gascón, Inés	Nº Plano 2



- Pozo
- Depósito
- - - Lateral con emisores
- Parcela
- Tubería



TFG	1:200	Plano modelo de la segunda y tercera alternativas	
	m		
UJI	Fecha: 02/2016	Torán Gascón, Inés	Nº Plano 3