



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Evaluación de evapotranspiración del cultivo para el diseño de un  
reservorio en el distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Civil

**AUTOR:**

Br. Wilfredo, Ricra Umeres (ORCID: 0000-0001-7586-2412)

**ASESOR:**

Dr. Ing. Luis Vargas Chacaltana (ORCID: 0000-0002-4136-7189)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

**LIMA - PERÚ**

2019

## **DEDICATORIA**

A mí amada esposa y mis hijos por su gran amor y comprensión en los momentos que más lo necesite.

## **AGRADECIMIENTO**

A Nuestro Padre Eterno por permitirme estudiar esta hermosa carrera, a todos los catedráticos que me transmitieron sus conocimientos.

## **PÁGINA DEL JURADO**

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

### DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Wilfredo Ricra Umeres, identificado con D.N.I. n° 10055796, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico profesional de Ingeniera Civil, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se muestra en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento y omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

**Lima, 16 de julio del 2019**



---

Wilfredo Ricra Umeres

DNI: 10055796

## ÍNDICE

|   |     |
|---|-----|
| Dedicatoria .....   | ii  |
| Agradecimiento .....                                      | iii |
| Página del jurado.....                                    | iv  |
| Declaratoria de autenticidad.....                         | v   |
| Índice .....  | vi  |
| Resumen.....  | x   |
| Abstract. ....  | xi  |
| I. Introducción.....                                      | 1   |
| 1.1. Trabajos previos .....                               | 4   |
| 1.1.1. Antecedentes Nacionales .....                      | 4   |
| 1.1.2. Antecedentes Internacionales.....                  | 6   |
| 1.2. Teorías relacionadas al tema .....                   | 8   |
| 1.2.1. Necesidades hídricas en los cultivos .....         | 8   |
| 1.2.1.1. Proceso de evapotranspiración .....              | 8   |
| 1.2.1.1.1. Evaporación .....                              | 8   |
| 1.2.1.1.2. Transpiración .....                            | 9   |
| 1.2.1.2. Factores que afectan la evapotranspiración ..... | 9   |
| 1.2.1.2.1. Clima .....                                    | 9   |

|  |    |
|--|----|
| 1.2.1.2.1.1. Ecuación de Penman-Monteith .....         | 10 |
| 1.2.1.2.1.2. Recolección de datos Meteorológicos ..... | 17 |
| 1.2.1.2.1.3. Sistematización de los datos .....        | 17 |
| 1.2.1.2.2. Tipo de cultivo .....                       | 18 |
| 1.2.2. Diseño de un reservorio .....                   | 18 |
| 1.2.2.1. La topografía .....                           | 19 |
| 1.2.2.2. Geología .....                                | 20 |
| 1.2.2.3. Estabilidad de taludes .....                  | 21 |
| 1.2.2.4. Factor de seguridad .....                     | 22 |
| 1.3. Formulación del problema .....                    | 24 |
| 1.3.1. Problema general .....                          | 24 |
| 1.3.2. Problemas específicos .....                     | 24 |
| 1.4. Justificación del estudio .....                   | 24 |
| 1.5. Hipótesis .....                                   | 24 |
| 1.5.1. Hipótesis general .....                         | 24 |
| 1.5.2. Hipótesis específicos .....                     | 25 |
| 1.6. Objetivos .....                                   | 25 |
| 1.6.1. Objetivo general .....                          | 25 |
| 1.6.2. Objetivo específicos .....                      | 25 |
| II. Método .....                                       | 26 |
| 2.1 Diseño de investigación .....                      | 26 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.1.1 | Enfoque .....   | 26 |
| 2.1.2 | Tipo de investigación .....                                     | 26 |
| 2.1.3 | Nivel de investigación .....                                    | 26 |
| 2.1.4 | Diseño de investigación .....                                   | 27 |
| 2.1.5 | Variables .....   | 27 |
|       | 2.1.5.1 Evapotranspiración del cultivo .....                    | 27 |
|       | 2.1.5.2 Diseño de un reservorio .....                           | 27 |
| 2.2   | Operacionalización de variables .....                           | 28 |
| 2.3   | Población y muestra .....                                       | 28 |
|       | 2.3.1 Población .....   | 28 |
|       | 2.3.2 Muestra .....   | 29 |
| 2.4   | Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....           | 29 |
| 2.5   | Validez y confiabilidad .....                                   | 29 |
|       | 2.5.1 Validez .....   | 29 |
|       | 2.5.2 Confiabilidad .....                                       | 30 |
| 2.6   | Método de análisis de datos .....                               | 30 |
|       | 2.6.1 Ensayos realizados.....                                   | 31 |
|       | 2.6.1.1 Ensayo para determinar la granulometría del suelo ..... | 31 |
|       | 2.6.1.1.1 Equipos y procedimientos.....                         | 32 |
|       | 2.6.1.1.2 Ensayo para determinar el peso específico .....       | 32 |
|       | 2.6.1.1.3 Ensayo de corte directo .....                         | 32 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| 2.6.1.2   | Proceso de diseño .....   | 33 |
| 2.6.1.2.1 | Información meteorológica .....                                     | 33 |
| 2.6.1.2.2 | Cálculo de la evapotranspiración .....                              | 34 |
| 2.6.1.2.3 | Determinación del módulo de riego .....                             | 34 |
| 2.6.1.2.4 | Requerimiento hídrico del cultivo .....                             | 35 |
| 2.6.1.2.5 | Demanda de agua para los cultivos .....                             | 36 |
| 2.6.1.2.6 | Balance hídrico.....  | 36 |
| 2.6.1.2.7 | Diseño del reservorio.....  | 36 |
| 2.7       | Aspectos éticos .....   | 39 |
| 2.8       | Aspectos administrativos .....                                      | 40 |
| III.      | Resultados .....  | 42 |
| IV.       | Discusión .....   | 43 |
| V.        | Conclusiones.....   | 46 |
| VI.       | Recomendaciones .....   | 47 |
|           | Referencias .....   | 48 |
|           | Anexos .....  | 50 |
|           | Declaratoria de Originalidad del Autor.....                         | 54 |
|           | Pantallazo del Software Turnitin .....                              | 55 |
|           | Acta de aprobación de originalidad de Tesis .....                   | 56 |
|           | Autorización de publicación de Tesis .....                          | 57 |
|           | Autorización de la versión final del Trabajo de Investigación ..... | 58 |

## RESUMEN

Se sabe que aproximadamente el 70% de la corteza terrestre está cubierta de agua, un 97.5% es agua salada, es así que del total tenemos solo un 2.5% de agua dulce y de este porcentaje tan solo quedaría para el aprovechamiento humano un 0.007% lo que está distribuido en acuíferos, lagos y ríos; siendo ya escaso el agua esto se agudiza aún más debido al cambio climático que hoy se está dando a nivel mundial, en el Perú se está retomando las técnicas ancestrales de “siembra y cosecha de agua” para de alguna manera minimizar la actual situación de escasez de agua.

En la presente investigación se estudiará el requerimiento de agua para los cultivos en el distrito de Santiago de Tuna, Provincia de Huarochirí, Región Lima, a través de la aplicación de la metodología que nos brinda la FAO, que es el método de Penman – Monteith, mediante ello encontraremos la Evapotranspiración de referencia y con el coeficiente del cultivo finalmente determinaremos la evapotranspiración del cultivo con este valor se podrá hallar las necesidades de agua para una cedula de cultivo, con lo cual conoceremos el volumen necesario a almacenar, finalmente con este volumen se procederá al diseño de un reservorio con consideraciones geotécnicas, es decir el reservorio será construido con el mismo suelo en corte y relleno compactado por lo que se requerirá determinar el factor de seguridad para un talud estable y seguro, mediante los métodos existentes y de mayor uso, para lo cual será necesario determinar el peso específico, ángulo de fricción y cohesión del suelo mediante ensayos de laboratorio.

Finalmente se demostró que es factible la construcción de un reservorio de volumen de 50,000 m<sup>3</sup> para el riego de 100 ha de cultivos de durazno, ciruelo y tuna en el centro poblado de Santiago de Tuna del Distrito de Santiago de Tuna, provincia de Huarochirí, Región Lima.

**Palabras clave:** Evapotranspiración, cultivo, diseño, reservorio.

## **ABSTRACT**

It is known that approximately 70% of the earth's crust is covered with water, 97.5% of it is salt water, so we have only 2.5% of fresh water and this percentage would only be used for harvesting. human, 0.007% which is distributed in aquifers, lakes and rivers; Since water is scarce and this is even more acute due to the climate change that is taking place worldwide today, in Peru the ancestral techniques of "sowing and harvesting water" are being taken up in order to somehow minimize the current situation of the pollution and climate change. In this research we will study the water requirement for crops in the district of Santiago de Tuna, Province of Huarochirí, Lima Region, through the application of the methodology provided by FAO, which is the method of Penman - Monteith , by means of it we will find the reference Evapotranspiration and with the crop coefficient finally we will determine the evapotranspiration of the crop with this value it will be possible to determine the water requirement of a cultivation card, with which we will know the volume necessary to store, finally with this volume proceed to the design of a reservoir with geotechnical considerations, ie the reservoir will be built with the same soil in compacted cut and fill, so it will be necessary to determine the safety factor for a stable and safe slope, by means of the existing and most widely used methods , for which it will be necessary to determine the specific weight, angle of friction and coh soil analysis by laboratory tests. Finally it was demonstrated that it is feasible to build a reservoir of 50,000 m<sup>3</sup> volume for the irrigation of 100 ha of peach, plum and tuna crops in the town of Santiago de Tuna of the District of Santiago de Tuna, province of Huarochirí, Region Lima.

**Keywords:** Evapotranspiration, cultivation, design, reservoir

## I. INTRODUCCIÓN

Sabemos que el 70% de la corteza terrestre es agua, un 97.5% es agua salobre, es así que del total tenemos solo un 2.5% de agua dulce, un 0.78% los encontramos subterráneamente por lo que no son accesibles por su profundidad, el 1.71% los encontramos en los polos y en las montañas altas como hielo, a este porcentaje le tenemos que restar el agua atmosférica y el agua que se encuentra en los suelos, lo que quedaría para el aprovechamiento humano sería de tan solo 0.007%, este porcentaje lo encontramos distribuido en acuíferos, lagos y ríos.

Es así que desde hace mucho tiempo atrás se sabe de la escasez de agua dulce y por ende la escasez de agua potable, siendo actualmente esto un grave problema a nivel mundial.

En este contexto en muchos países se está intentando dar distintas alternativas de solución al problema de escasez del agua en la agricultura: así tenemos los cultivos en invernaderos, cultivos en sistemas de recirculación de hidroponía, la construcción de reservorios, represas y zanjas de alimentación de acuíferos.

Un caso de agotamiento del recurso hídrico se puede apreciar en México, en la ciudad de Chapingo, donde la agricultura depende del agua subterránea para riego, el exceso de extracción en la zona está provocando que los niveles de la napa freática estén en descenso muy acelerado, frente a esta situación existen estudios para implementar técnicas modernas en la agricultura, todo ello para lograr que la agricultura sea más eficiente, como es la construcción de invernaderos y sistemas de hidroponía.

“Muchos expertos reunidos en el Foro Económico Mundial manifiestan que en el año 2030 se incrementará hasta en un 40% más alta la demanda de agua, esta demanda será insatisfecha ya que el planeta con los recursos de agua disponibles para consumo humano no podrá ofertar ese requerimiento” (Comercio, 2018).

Por lo descrito anteriormente en el Diario el Comercio será necesario implementar nuevas tecnologías para una adecuada explotación del agua, tanto para el consumo humano, la energía y las actividades agrícolas.

“[...] Según muchos expertos manifiestan en el informe de las Naciones Unidas que las actividades agrícolas requiere casi el 70% de toda el agua apta para consumo no salobre disponible en la tierra, pero esta situación se acentúa aún más en los países llamados tercermundistas donde ese porcentaje se eleva hasta un 90% y más [...] por otro lado continuando con el informe manifiestan que en el año 2050, las actividades agrícolas se tendrá que incrementar al 60% en su producción, esto en los países adelantados tecnológicamente, pero en los países con bajo desarrollo y con mucha pobreza la situación es aún más crítica ya que la producción se incrementaría en un 100% [...] por lo que aumento en la necesidad de agua para la actividad agrícola es casi insostenible [...]” (Informe de las ONU sobre los recursos de agua a nivel mundial 2015, p.6).

Basado en el escenario descrito podemos concluir que, la poca disponibilidad de agua no solo afecta al consumo para las actividades del hombre sino también a las actividades agrícolas, este hecho hará que aumenten los precios de los alimentos, así como la escasez del mismo, agudizando aún más la pobreza a nivel mundial.

El Perú no será ajeno al déficit hídrico avizorado, actualmente el Perú está dividido políticamente en 25 regiones, de las cuales la Región Lima cuenta con 10 provincias, la Provincia de Huarochirí cuenta con 32 distritos, de estos el Distrito de Santiago de Tuna está ubicado geográficamente en la zona centro – occidental de la provincia de Huarochirí, hidrológicamente vierte sus aguas a las cuencas del río Rímac y el río Lurín, es así que el distrito cuenta con dos microcuencas desfavorecidas ya que no tiene sub cuencas tributarias tampoco cuenta con lagunas ni glaciares en sus zonas altas, este hecho hace de que la población del distrito este dentro de las poblaciones consideradas de extrema pobreza.

Figura 1.- Jurisdicción del distrito de Santiago de Tuna, donde se puede apreciar la ausencia de glaciares y lagunas en la parte alta del distrito, Fuente: Recorte Google Earth



En el año 2007 la municipalidad Distrital de Santiago de Tuna retoma un proyecto abandonado por varias décadas, este proyecto consistió en establecer un convenio con la Municipalidad distrital de San Andrés de Tupicocha, para ejecutar el proyecto denominado “Construcción del canal Huillcapampa”, consistente en la construcción de un canal entubado de 12” de diámetro, con una longitud de 72 Km, proyecto que se ejecutó en el 2010.

En el año 2013 se ejecutó el proyecto denominado “Construcción del Reservorio Cantucha y sistema de riego”, este proyecto consistía en la construcción de un reservorio en corte y relleno impermeabilizado con geomembrana con lo cual se pudo ampliar la frontera agrícola de la zona.

Actualmente en el distrito de Santiago de Tuna y en sus Anexos se tiene aún áreas de cultivo con déficit hídrico, En el presente estudio nos enfocaremos en las áreas de cultivo del Centro poblado de Santiago de Tuna, aquí el déficit es básicamente por la falta de estructuras medianas de almacenamiento de agua, que permitirían el mejoramiento de la

irrigación de mayores áreas cultivadas, abasteciendo el requerimiento hídrico de los cultivos de la zona.

José María Faci Gonzales y Antonio Martinez Cob (19.02.1991):

La evapotranspiración, o agua consumida por una parcela cultivada, sería la unión de la transpiración en plantas y el agua que se evapora directamente desde el suelo y de las superficies de los vegetales, ya que en estas el agua se acumula por el riego, la lluvia y el rocío. El riego y la precipitación proporcionan la humedad necesaria a las raíces de las plantas para mantener los procesos de evapotranspiración.

Según lo anterior podemos deducir que el requerimiento de agua por un determinado cultivo es para poder mantener en equilibrio los procesos de evaporación de las plantas y el suelo, así como la transpiración de las plantas que en conjunto es la evapotranspiración.

## **1.1. TRABAJOS PREVIOS**

### **1.1.1. ANTECEDENTES NACIONALES**

(Murillo Perea, 2012) **Título** Construcción de una presa de materiales sueltos en la región de Arequipa. Tesis para obtener el título de Ingeniero civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú – Perú. **Objetivo** Analizar cada componente estructural, es en una presa de tierra, evaluación de alternativas del tipo de presa a construirse entre los cerros de Yanaorco, Paltaorco y Humpuco en Arequipa, a una cota de 3,223.5 msnm, así como la utilización de geomembrana como impermeabilizante aguas arriba del cuerpo de la presa. **Conclusión** Se concluye que en zonas alto andinas es recomendable la construcción de presas y reservorios de material suelto seleccionado compactado, por su menor costo y la existencia del material in situ. Así mismo se observó las ventajas del uso adecuado de la geomembrana como material impermeabilizante.

(Llosa Larrabure, 2014) **Título** Cambio climático en el Perú, El caso de los reservorios rústicos construidos para irrigar praderas naturales en puna seca (pp. 61-77). **Revista de Investigación** de la Universidad San Ignacio de Loyola Lima, Perú. **Objetivo** En la revista de investigación se dan conceptos y experiencia mediante los cuales se evidencia las consecuencias del denominado cambio climático para la mantención de los recursos de

agua en zonas altas de la sierra del Perú, recopilación de experiencias tradicionales en zonas alto andinas y la construcción de pequeños reservorios para la denominada “cosecha de agua”. **Conclusión** Es necesario prestar mayor atención a los efectos del cambio climático y tomar acciones locales tomando como referencia las experiencias de la construcción de las denominadas cochas de épocas pre Incas.

(Sullcahuaman Delgado Robert, 2018) **Título** Diseño a Nivel de Pre factibilidad del Sistema de Represamiento Acocro Para el Afianzamiento Hídrico del Sistema de Riego Chulluhuayco, Ayacucho. Tesis para obtener el título de Ingeniero agrícola en la Universidad Nacional Agraria La Molina. **Objetivo** Determinar la altura total de la presa de tierra para fines de irrigación en la comunidad de Acocro – Ayacucho, diseñar el cuerpo de la presa de tierra, diseño geométrico y distribución de materiales del cuerpo de presa, finalmente se valida todo el diseño planteado aplicando conceptos de estabilidad de taludes. **Conclusión** debido a una baja producción agrícola durante épocas de estiaje en la zona de Acocro – Ayacucho, se ha planteado distintas alternativas de solución basado en el concepto de cosecha de agua de lluvia, el afianzamiento hídrico en quebrada Chulluhuayco con estudios previos de geología, mecánica de suelos e hidrología.

(Paül Chancasanampa Pacheco, 2018) **Título** Diseño y Aplicación de Geotextiles y Geomembranas en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, Huancayo. Tesis para obtener el título de Ingeniero civil en la Universidad Nacional del Centro del Perú - Huancayo. **Objetivo** El autor implementa y plantea una metodología adecuada de diseño de geo sintéticos para su posterior aplicación en obras de tratamiento de aguas. **Conclusión** El autor aplica un diseño bajo el concepto de función para los geotextiles y un diseño basado en el espesor para las geomembranas, con esta metodología logra un adecuado procedimiento y aplicación en obras de tratamiento de aguas.

(Albites Paico Juan Víctor – Albitez Figueroa Carmen Del Rosario, 2015) **Título** Diseño de un Sistema de Riego por Goteo para el Cultivo de Palto Hass en parcela de 22 ha del Subsector de Riego Ferreñafe. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Agrícola en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo - Lambayeque. **Objetivo** Identificar las necesidades hídricas del palto Hass para posteriormente diseñar el sistema hidráulico en el riego tecnificado. **Conclusión** El autor identifico un pozo tubular desde donde se puede aprovechar el recurso hídrico subterráneo, también identifico que el rendimiento del pozo

es de 18 l/s, también el autor concluye que la demanda del palto has es de 14,910 m<sup>3</sup>/ha por año, así mismo que la disposición de agua es solamente de 11,520 m<sup>3</sup>/ha, por lo que se hace evidente la necesidad de la construcción de un reservorio con un volumen de 6,460 m<sup>3</sup>.

### 1.1.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

(Centro Mesoamericano de Desarrollo Sostenible del Trópico Seco - Universidad Nacional de Costa Rica, 2010) **Título** Estudio de Viabilidad Técnica y Económica para el Desarrollo de Opciones de Cosecha de Lluvia y Manejo Adecuado en Sistemas de Riego en la Producción Agropecuaria. **Trabajo de investigación** para el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. **Objetivo** Realizar una guía donde se dispondrá de especificaciones técnicas con las cuales se podrán construir estructuras medianas para la captación de aguas de lluvia, así como dar a conocer los conceptos básicos de los componentes en sistemas de riego como son los tipos de captación y cosecha de agua, tipos de reservorio y sistemas de riego para productores a menor escala en zonas rurales de Costa Rica. **Conclusión** en zonas áridas donde existen poblaciones con la necesidad de agua para consumo y riego, es necesario desarrollar estrategias para la producción de agua, aun siendo esto difícil, las estrategias planteadas consisten en la cosecha de agua a través de la construcción de estructuras para la retención de aguas de lluvia, los cuales pueden ser reservorios revestidos con geomembrana para reducir la infiltración.

(López Menéndez Joaquín A., 2007) **Título** Diseño de un Reservorio Natural con Borda, Techado y Recubierto con Geomembrana, Para los Sectores de la Comunidad Segundo Montes, en el Departamento de Morazán. Tesis para obtener el título de Ingeniero civil en la Universidad de El Salvador – San Salvador – El Salvador. **Objetivo** estudio de las necesidades de agua potable en la comunidad de Segundo Montes, en El Salvador para el diseño de un reservorio cubierto e impermeabilizado con geomembrana para el abastecimiento de agua potable de 933 familias. **Conclusión** existen zonas de escasos recursos económicos donde las poblaciones consumen agua sin tratamiento previo, originando en ellos enfermedades gastrointestinales con el consecuente incremento de la pobreza local, se concluye que la construcción de un reservorio impermeabilizado con

geomembrana es económico y factible ya que cumple con los requisitos técnicos y económicos para zonas deprimidas.

(Palomino Rojas Adriana Maribel - Toapanta Criollo Maritza Margarita, 2015) **Título** Mejoramiento de la Conducción, Reservorio y Distribución de Agua Para Riego en la Comunidad las cochas. Tesis para obtener el título de Ingeniero civil en la Universidad Central del Ecuador. **Objetivo** estudio para el mejoramiento de las estructuras existentes como son: el sistema de conducción, el reservorio y las redes de distribución, con lo que se espera el mejoramiento de riego en la comunidad Las Cochas, el mejoramiento consiste en el rediseño de las estructuras del sistema como son el reservorio, el canal para la conducción, el desarenador, la captación y la red de distribución. **Conclusión** se ha determinado que los recursos en la zona de estudio son suficientes para la implementación de los cultivos. Así mismo para el dimensionamiento correcto del reservorio se ha determinado que el caudal característico aceptable para los requerimientos de los cultivos es de 0.6 l/s/ha para un área de 17,48 Ha; así mismo se ha determinado que es necesario el uso de geotextil por la irregularidad existente en la superficie del reservorio.

(Wilian Francisco Ortiz Quizhpi - Edgar Ismael Portilla Flores, 2014) **Título** Estudio de Estabilidad de los Taludes de las Presas del Proyecto Pacalori, Teniendo en Cuenta la Acción Sísmica. Tesis para obtener el título de Ingeniero civil en la Universidad de Cuenca – Ecuador. **Objetivo** se define la metodología con la que se analizara la estabilidad del talud en la presa de tierra Chojampe 2 del Proyecto Pacalori de Ecuador, para lo cual se está considerando las cargas y el sismo. **Conclusión** se concluye que en la implementación del talud de la presa Chojampe 2 se han considerado factores de seguridad razonables y seguros para las presas de tierra del Proyecto PACALORI.

(Rebeca Carvajal Carballo, 2015) **Título** Estudio de viabilidad de cosecha de agua de lluvia en Reserva Conchal para su utilización en riego del campo de golf. Tesis para obtener el título de Licenciatura en Ingeniería Agrícola en la Universidad de Costa Rica. **Objetivo** Realizar un estudio hídrico en el campo de golf de Reserva Conchal en Guanacaste Costa Rica para determinar si es posible cosechar agua por medio de una interconexión de los lagos ubicados dentro del campo de golf. **Conclusión** Por medio del balance hídrico se determinó que la capacidad de los lagos no es suficiente para recolectar

la totalidad del agua que escurre en la época lluviosa, pero tienen la capacidad de poder estar llenos al final de esta época y comenzar la época seca a su máxima capacidad.

## **1.2. TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA**

### **1.2.1. NECESIDADES HÍDRICAS EN LOS CULTIVOS**

Durante su crecimiento las plantas requieren cantidades distintas de agua, las cantidades requeridas varían para cada tipo de cultivo, la región y las etapas de desarrollo de las plantas, por lo que será necesario comprender y calcular la evapotranspiración de las plantas ya que mediante ello encontraremos las necesidades del recurso hídrico que requieren las plantas.

#### **1.2.1.1. PROCESO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN**

Estudio FAO-54 (1990), se afirma:

Que la evapotranspiración (ET) consiste en la ocurrencia de dos eventos físicos, mediante los cuales se pierde el agua desde el suelo por evaporación y el otro proceso de transpiración que ocurre en las plantas de un determinado cultivo. (p.01).

Entonces para la comprensión del proceso de evapotranspiración será necesario conocer los conceptos siguientes:

##### **1.2.1.1.1 EVAPORACIÓN**

Estudio FAO-54 (1990), define:

Que la evaporación es un evento físico donde el agua cambia de estado líquido a vapor lo cual es conocido como vaporización, este vapor se eleva de la superficie del suelo por lo que entendemos que se pierde agua del suelo. Así mismo se sabe que este proceso de vaporización ocurre en las superficies de lagos, ríos, suelos y desde la propia vegetación que ha sido previamente mojada. (p.01).

Es así que, entendemos que las plantas pierden parte del agua mediante la evaporación por la radiación solar y las temperaturas altas, este proceso físico consiste en que la radiación solar brinda lo necesario para el cambio de estado del agua desde líquido a vapor.

### 1.2.1.1.2 TRANSPIRACIÓN

Estudio FAO-54 (1990), define:

A la transpiración como el fenómeno físico que ocurre en las plantas donde el agua en estado líquido que contienen las plantas es removido al exterior en forma de vapor llamando a esto como transpiración de las plantas. Entonces los cultivos pierden agua desde las estomas siendo estas por donde salen los gases y vapores, cabe destacar que estas estomas no solo sirven para el proceso de transpiración sino también para la expulsión de distintos tipos de gases hacia la atmosfera. (p.03).

De manera similar a la evaporación se requiere de energía para el cambio de estado del agua en las plantas, esta energía la brinda la radiación solar, pero también intervienen otros parámetros como son la temperatura del ambiente, la humedad del ambiente y el viento.

Figura 2. Evapotranspiración, Fuente:

[http://www.nurr.ula.ve/saladageografia/documentos/hidrografia/practicas\\_hidrografia/practica\\_balan ce\\_1\\_etp/guia/practica\\_balance\\_etp.pdf](http://www.nurr.ula.ve/saladageografia/documentos/hidrografia/practicas_hidrografia/practica_balan ce_1_etp/guia/practica_balance_etp.pdf)



### 1.2.1.2 FACTORES QUE AFECTAN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

#### 1.2.1.2.1 CLIMA

El clima de la zona donde se esté analizando un cultivo nos dará parámetros medibles como temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación solar, parámetros necesarios para poder calcular la evapotranspiración del cultivo ETC, con el cálculo previo de la evapotranspiración del cultivo de referencia ETo, esto nos da una idea de la energía que dispone la atmosfera para el cambio de estado del agua en la zona de estudio.

El cultivo de referencia es una planta que ha crecido en condiciones controladas pudiéndose determinar la evapotranspiración de este cultivo, entonces podemos considerar que esta ETo nos indica la cantidad de agua que ha perdido un área estándar de cultivo, la cual servirá de comparación con el cultivo que deseemos estudiar y calcular la ET del cultivo materia del estudio.

La ETo se puede estimar de dos maneras una experimental, la cual está referido a la medición de la evaporación del tanque evaporímetro este método ha demostrado su validez experimental requiriéndose de personal especializado para su análisis y ejecución lo cual escapa del fin de la presente tesis, la otra forma de cálculo se basa en el conocimiento de datos de estaciones meteorológicas como son: la temperatura, humedad, radiación solar y la velocidad del viento, el cálculo se podrá efectuar mediante el método de FAO Penman-Monteith.

#### 1.2.1.2.1.1 ECUACIÓN DE PENMAN-MONTEITH

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), a una metodología de cálculo denominada ecuación FAO Penman-Monteith, esta ecuación se deriva de la ecuación original de Penman y Monteith y de conceptos termodinámicos que ocurren en el área de estudio, esta ecuación tiene la siguiente expresión:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

donde:

|             |   |
|-------------|---|
| $ET_o$      | evapotranspiración de referencia (mm día <sup>-1</sup> )                            |
| $R_n$       | radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> ) |
| $R_a$       | radiación extraterrestre (mm día <sup>-1</sup> )                                    |
| $G$         | flujo del calor de suelo (MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )                    |
| $T$         | temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)                                     |
| $u_2$       | velocidad del viento a 2 m de altura (m s <sup>-1</sup> )                           |
| $e_s$       | presión de vapor de saturación (kPa)  |
| $e_a$       | presión real de vapor (kPa)   |
| $e_s - e_a$ | déficit de presión de vapor (kPa)   |
| $\Delta$    | pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C <sup>-1</sup> )                   |
| $\gamma$    | constante psicrométrica (kPa °C <sup>-1</sup> )                                     |

En esta aplicación del método FAO Penman-Monteith, será necesario previamente el cálculo de las variables descritas en la ecuación, así tenemos:

**La constante psicrométrica “ $\gamma$ ” (KPa/°C):**

$$\gamma = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda} = 0,665 * 10^{-3}$$

Dónde:

$\lambda$ : Calor latente de vaporización, 2,45 [ MJ kg-1]

$c_p$ : Calor específico a presión constante = 1,013 x 10-3 [ MJ kg-1 °C-1]

$\epsilon$ : Cociente del peso molecular de vapor de agua /aire seco = 0,622

$P$ : Presión atmosférica en KPa, para calcular este valor utilizaremos la ecuación de los gases ideales simplificada para una temperatura de 20°C, obteniendo la siguiente ecuación:

$$P = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065 z}{293} \right)^{5,26}$$

Siendo “ $z$ ” la cota desde el nivel del mar (m)

**Presión de vapor de saturación “ $e_s$ ” (KPa):**

$$e_s = \frac{e^\circ(T \text{ max}) + e^\circ(T \text{ min})}{2}$$

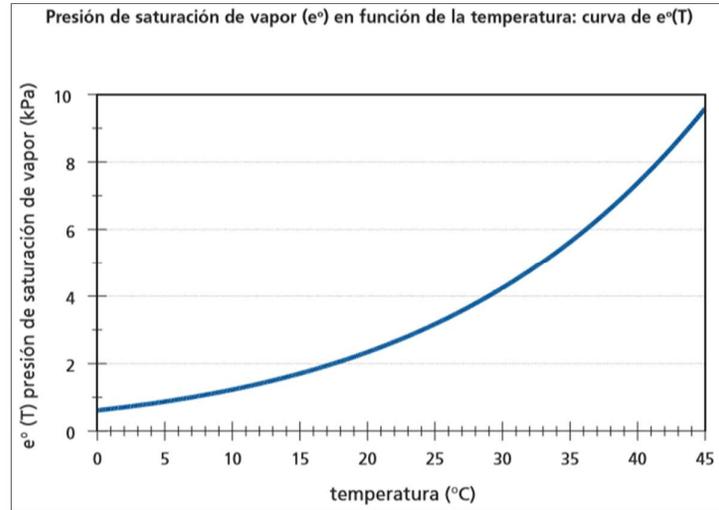
Siendo  $e^\circ(T)$  presión de saturación de vapor a la temperatura del aire  $T$  en kPa, la cual se puede calcular a partir de las Temperaturas máximas y mínimas con la siguiente expresión:

$$e^\circ(T) = 0,6108 * \exp \left[ \frac{17,27 * T}{T + 237,3} \right]; \exp=e \text{ (base del log natural)}$$

**Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor “ $\Delta$ ”:**

Figura 3. Curva temperatura – presión de saturación de vapor, Fuente: estudio FAO

Riego y drenaje boletín n° 56



$$\Delta = \frac{4098 * \left[ 0,6108 * \exp\left(\frac{17,27 * T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2}$$

**Siendo:**

$\Delta$  = Pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor a la temperatura del aire T, en kPa °C-1.

T = Temperatura del aire [°C]

**Presión real de vapor (e<sub>a</sub>):**

La presión real de vapor según las ecuaciones FAO se pueden determinar a partir de datos como la temperatura del punto de rocío, de valores psicrométricos, datos de humedad máximas, mínimas así como datos de **humedad relativa media**, para el presente estudio se utilizara esta última ya que en la estación meteorológica de Matucana se cuenta con estos datos, datos que so obtenidos desde la internet en la página oficial del SENAMHI, siendo la expresión:

$$e_a = \frac{HR_{media}}{100} e^{\circ(T_{media})}$$

### Déficit de presión de vapor ( $e_s - e_a$ ):

Este parámetro se calcula con la diferencia aritmética de la presión de vapor de saturación y la presión real de vapor con las ecuaciones descritas líneas arriba.

### Radiación extraterrestre ( $R_a$ ):

Para entender la radiación extraterrestre primero será necesario comprender que toda la radiación que impacta perpendicularmente a la superficie exterior de la atmosfera terrestre es denominada constante solar, cuyo valor aproximado es de 0,082 MJ / m<sup>2</sup> x min. Por otro lado **La intensidad local de la radiación**, se determinara a través del ángulo entre la dirección de los rayos solares y la superficie de la atmósfera. Es sabido que este valor varia durante el transcurso de las horas por el movimiento terrestre, también es variable según la latitud y las épocas del año. Por lo que la radiación solar que se recibe en la atmósfera terrestre en un plano horizontal la conocemos como radiación (solar) extraterrestre,  **$R_a$** , por lo que la radiación extraterrestre tiene la siguiente expresión:

$$R_a = \frac{24 * 60}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega)]$$

Siendo:

- $R_a$  radiación extraterrestre [MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>]
- $G_{sc}$  constante solar = 0,082 MJ m<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>,
- $d_r$  distancia relativa inversa Tierra-Sol (Ecuación 23)
- $\omega_s$  ángulo de radiación a la puesta del sol (Ecuaciones 25 o 26) [rad]
- $\varphi$  latitud [rad] (Ecuación 22)
- $\delta$  declinación solar (Ecuación 24) [rad].

Por lo que las variables que intervienen se calcularan de la siguiente manera:

La variable “dr” es la distancia relativa inversa Tierra-Sol, esta se calculara mediante:

$$d_r = 1 + 0,033 * \cos\left(\frac{2\pi J}{365}\right)$$

La declinación solar ( $\delta$ ), mediante:

$$\delta = 0,409 * \text{sen}\left(\frac{2\pi}{365}J - 1,39\right)$$

Siendo “J” la variable que identifica al día del año numéricamente desde 1 (1 de enero) y 365 (31 de diciembre).

El ángulo de radiación a la hora de la puesta del sol ( $\omega_s$ ), estaría dada por:

$$\omega_s = \frac{\pi}{2} - \arctan\left[\frac{-\tan(\varphi)\tan(\delta)}{X^{0,5}}\right]$$

Así los cálculos, la radiación extraterrestre tendrá las unidades de energía, sin embargo en la ecuación FAO Penman-Monteith, la cual utilizaremos con fines de la presente tesis tiene unidades de evaporación equivalente en mm/día, para lograr este cambio de unidades de energía a mm de agua se utilizara el calor latente de vaporización, siendo la constante la inversa como se presenta a continuación:

$$1/\lambda = 0,408.$$

Por lo que la evaporación equivalente en mm/día será igual a 0,408 multiplicado por Radiación extraterrestre.

### **Radiación neta (Rn):**

Para el cálculo de la radiación neta, según las ecuaciones de la FAO Penman-Monteith, primero se debe de calcular las radiaciones de onda corta ( $R_{ns}$ ) y onda larga ( $R_{nl}$ ) respectivamente, para finalmente tener la siguiente expresión para la Radiación neta:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

Dónde:

**R<sub>ns</sub>** es la Radiación de onda corta siendo este el resultado diferencial entre la radiación solar que entra con una parte de radiación que se refleja desde la corteza del planeta, la expresión para calcularlo es la siguiente:

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s$$

Siendo:

$R_{ns}$  = Radiación neta solar o de onda corta expresada en MJ/m<sup>2</sup>. día

$\alpha$  = Coeficiente de reflexión del cultivo (albedo) = 0.23 (para el cultivo de referencia siendo este adimensional).

$R_s$  = Radiación solar entrante (MJ/m<sup>2</sup>. día)

$$R_s = \left( a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a$$

, para esta ecuación tenemos:

$a_s = 0.25$ ,  $b_s = 0.50$ ,  $n$  = duración real de la insolación expresada en horas,  $N$  = duración máxima posible de la insolación expresada en horas.

**R<sub>nl</sub>** es la radiación de onda larga, este parámetro es depende de la temperatura en grados absolutos en la corteza elevado a la cuarta. La relación descrita se puede cuantificar utilizando la ley de Stefan-Boltzmann de la siguiente manera:

$$R_{nl} = \sigma \left[ \frac{T_{max,K}^4 + T_{min,K}^4}{2} \right] \left( 0,34 - 0,14 \sqrt{e_a} \right) \left( 1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right)$$

$\sigma$  = Constante de Stefan-Boltzmann  $4,903 \times 10^{-9}$  MJ K<sup>-4</sup> m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>.

$T_{max,K}$  = Temperatura máxima absoluta en un periodo de 24 horas (K=°C+273,16).

$T_{min,K}$  = Temperatura mínima absoluta en un periodo de 24 horas (K=°C+273,16).

$e_a$  = Presión de vapor real (KPa)

$R_s$  = Radiación solar media, calculada anteriormente (MJ/m<sup>2</sup>. día).

$R_{so}$  = Radiación en un día despejado calculada por:

$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z) R_a$  , siendo “z” la cota respecto del nivel del mar de la estación en metros y  $R_a$  es la radiación extraterrestre calculada anteriormente.

**Flujo del calor del suelo (G):**

El flujo del calor del suelo es energía que se libera en forma de calor desde el suelo para el cálculo de esta energía se tienen diversas metodologías de cálculo los cuales son complejos ya que requieren un análisis detallado del fenómeno termodinámico en el sistema, sin embargo ya que el flujo del calor del suelo es pequeño comparado a la  $R_n$ , en especial en superficies cubiertas con vegetación con periodos de tiempo de 24 horas o más, el cálculo presentado por el área de investigación de la FAO se basa en que la temperatura del suelo varía de la misma manera que la temperatura del aire, para lo cual se tiene la siguiente expresión:

$$G_{mes,i} = 0,14 (T_{mes,i} - T_{mes,i-1})$$

Aquí:

$T_{mes,i}$  = Temperatura media del aire en el mes  $i$  ( $^{\circ}C$ ).

$T_{mes,i-1}$  = Temperatura media del aire en el mes  $i-1$  ( $^{\circ}C$ ).

**Velocidad del viento “ $u_2$ ” (m/s):**

La rapidez del viento también es importante para calcular la evapotranspiración, así mismo este dato se puede obtener desde las estaciones meteorológicas, el valor de este parámetro se ingresa procesado previamente los datos promedios de los valores registrados en la estación al programa CRPWAT utilizado en la presente tesis. Para el cálculo de la evapotranspiración, ya que sabemos que el viento es variable según la zona y el tiempo.

La rapidez del viento se mide con los anemómetros cuyas unidades son del sistema internacional SI, siendo metros por segundo (m/s).

Como es sabido la rapidez del viento en la superficie del suelo se ve afectada por la fricción que esta ofrece al viento alterando la velocidad real del viento es por ello que los anemómetros en las estaciones meteorológicas son colocadas a alturas de 10 metros sobre la superficie de la tierra.

Sin embargo para calcular la evapotranspiración las velocidades requeridas son las que están a una altura máxima de 2 metros que es la cota promedio de los cultivos por lo que se

tiene una relación logarítmica de la variación de la velocidad del viento con la altura, siendo esta la siguiente expresión:

$$u_2 = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8 z - 5,42)}$$

Dónde:

$U_2$  = Velocidad del viento a 2 metros sobre la superficie (m/s)

$U_z$  = Velocidad del viento medida a z metros sobre la superficie (m/s)

Z = Altura de medición sobre la superficie (m).

#### **1.2.1.2.1.2 RECOLECCIÓN DE DATOS METEOROLÓGICOS**

De lo escrito en la metodología de cálculo para la evapotranspiración se hace evidente la utilización de datos meteorológicos, es así que será necesario datos meteorológicos como:

- Temperatura máxima
- Temperatura mínima
- Humedad
- Velocidad del viento
- Horas de sol (si no se cuenta con este dato, el investigador puede determinar las horas de sol in situ y tabularlos, para un procesamiento correspondiente.

Estos datos meteorológicos se pueden obtener de estaciones implementadas y controladas por el SENAMHI.

#### **1.2.1.2.1.3 SISTEMATIZACIÓN DE LOS DATOS Y PROGRAMAS DE ASISTENCIA POR COMPUTADORA.**

Visto la metodología de cálculo de la evapotranspiración de referencia en el ítem 1.2.1.2.1.1, es posible la aplicación de programas de computación, para la presente investigación se empleara el programa desarrollado por la FAO denominada CROPWAT.

#### **1.2.1.2.2 TIPO DE CULTIVO**

El otro factor a considerar es el tipo de cultivo, así como su etapa de desarrollo, estos dos factores deben ser tomados en cuenta cuando se desarrolla cultivos en áreas grandes manejadas, es decir con riego controlado (riego tecnificado). Por lo tanto, las distintas resistencias a la transpiración de cada tipo de planta, la altura de las plantas durante su desarrollo, la forma de cultivo en cuanto al orden y densidad se refiere y las características de las raíces de cada tipo de cultivo darán distintos valores de ET, así estos se encuentren en condiciones ambientales similares o idénticas.

Es así que en el cálculo final de la evapotranspiración del cultivo utilizaremos el coeficiente del cultivo “Kc”, por lo que finalmente se puede concluir que los efectos atmosféricos son tomados en cuenta en la ETo, mientras que el comportamiento y la forma del cultivo son consideradas mediante la constante Kc (coeficiente del cultivo), por lo que finalmente la evapotranspiración del cultivo tendría la siguiente expresión para su cálculo:

$$ET_c = K_c ET_o$$

#### **1.2.2 DISEÑO DE UN RESERVORIO**

Generalmente el diseño de un reservorio está referido al dimensionamiento del mismo bajo condiciones impuestas por la población futura para agua potable.

Para el presente estudio en cambio el dimensionamiento del reservorio lo determina la cantidad de agua que requieren las plantaciones en una determinada área de cultivo, esta es conocida como las necesidades de agua de los cultivos, esta necesidad de agua será calculado a través de la evapotranspiración del cultivo ETc, cuya metodología de cálculo fue explicada desde el capítulo 1.2.1.

Conocido el volumen necesario a almacenar para riego, se inicia con el diseño geométrico del reservorio. Entonces en el presente estudio para el diseño del reservorio será necesario estudios previos relacionados a la:

**Topografía** para la identificación y representación de la superficie en el área de emplazamiento del reservorio.

**Geología** a través de la **geotecnia** para la definición del talud estable del material en relleno y el talud de corte.

**Hidrología** para el estudio de la influencia del agua en los cultivos.

### 1.2.2.1 LA TOPOGRAFÍA

La topografía es una actividad técnica de la ingeniería que nos permite plasmar en un plano las formas geográficas de un terreno y los elementos allí existentes.

“Mediante la topografía es posible determinar las posiciones relativas de puntos en la superficie de la tierra, con la recopilación y el posterior procesamiento de la información obtenida con equipos topográficos de áreas físicas de la tierra “geoide”, que para efectos prácticos y por las áreas pequeñas en comparación al geoide se considera hipotéticamente que la superficie terrestre en estudio es plana y horizontal” (Mendoza, 2019, p. 9).

A través del estudio topográfico se podrá determinar los relieves existentes en el área de emplazamiento del reservorio para la definición precisa del tipo, la ubicación y las dimensiones del reservorio, así como para el movimiento de tierras.

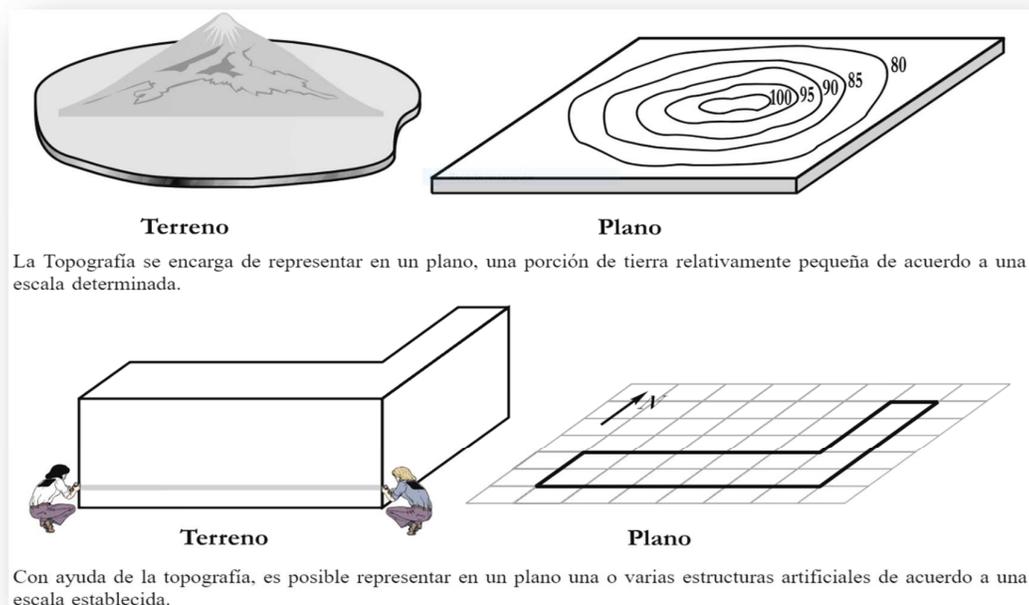


Figura 4. Representación topográfica de terreno y estructura, Fuente: Mendoza, 2019, p. 9

### 1.2.2.2 GEOLOGÍA

“El término geología proviene de los vocablos griegos geo, que significa tierra, y logos, tratado. De aquí podemos manifestar que la geología es el estudio del planeta. Meléndez y Fuster definen la Geología como “La ciencia que estudia la Tierra y todas sus características desde su formación, composición, así como todos los fenómenos que en ella ocurren” [...] (Paredes, 2008 pág. 13)

De los autores podemos decir que la geología es una ciencia que se encarga del estudio de los componentes del planeta, así como su estructura desde su formación y los procesos que esto conlleva.

La geología por ser una ciencia tan amplia se ha dividido en distintas especialidades de las cuales tenemos: Geofísica, Paleontología, Mineralogía, Cristalografía, Petrología, Estratigrafía, Geomorfología, Geología estructural, Geología histórica, Hidrogeología, Limnología, Geología marina, **Geotecnia**, Sedimentología, Geología económica, Exploración y prospección y la Geología ambiental.

En la presente tesis será necesario aplicar los conocimientos respecto de la Geotecnia.

*“La Geotecnia: Es parte de la geología que se encarga del estudio en la aplicación de conceptos geológicos para construir de obras de ingeniería” (Paredes, 2008)*

De la cita dada por David Rojas Caballero y Jorge Paredes Ángeles podemos decir que para el desarrollo de la presente tesis en cuanto al diseño del reservorio, al ser este construido con materiales térreos será necesario la aplicación de conceptos de ingeniería geotécnica, ya que según las definiciones que a continuación da Calla Fernández tenemos:

“INGENIERÍA GEOTÉCNICA: Mediante la ingeniería geotécnica se podrá analizar, diseñar y construir obras de ingeniería con materiales térreos.

Es así que la geotecnia tiene dos ramas principales:

INGENIERÍA DE FUNDACIONES: Esta rama de la geotecnia estudia la relación e interacción de todas las obras civiles con el suelo donde se apoyan.

INGENIERÍA DE TRABAJOS DE MOVIMIENTO DE TIERRAS:  
Esta rama de la geotecnia se refiere al estudio y tratado de obras con materiales térreos como son la construcción de presas, reservorios y carreteras (geotecnia vial), análisis de la estabilidad en excavaciones” (Calla Fernández, 2012 pág. 11).

De lo descrito por Calla Fernández la rama de la geotecnia a utilizarse será la Ingeniería de trabajos de movimiento de tierras, ya que el reservorio planteado en la presente tesis es de materiales térreos seleccionados del lugar.

Es así que será necesario conocer algunas características y valores de características mecánicas del suelo donde se plantea el estudio.

En la presente tesis se diseñará un reservorio de material suelto seleccionado y compactado el cual será impermeabilizado con geomembrana, entonces será necesario el conocimiento de las teorías relacionadas a la estabilidad de taludes.

### **1.2.2.3 ESTABILIDAD DE TALUDES**

“En ingeniería para la definición de la estabilidad de taludes se requiere el concepto de factor de seguridad (FS), este factor de seguridad se halla a través de cálculos matemáticos y físicos considerando los factores que afectarían la estabilidad como son la geometría del talud y los parámetros del suelo obtenidos por ensayos de laboratorio, así mismo si el caso lo amerita se debe tener en cuenta la presencia de agua mediante la presión de poros, cargas estáticas y dinámicas debido principalmente a la acción dl sismo [...]” (Suarez, 1998 pág. 117).

Entonces podemos decir que la estabilidad de un talud consiste en determinar el factor de seguridad, para lograr este objetivo contamos con distintos métodos como el de Fellinius, el método de la Dovelas, el método de Jambu y el de Bishop, la aplicación de estos métodos requiere primero los estudios de suelos y ensayos de laboratorio correspondientes para obtener las características del suelo donde se está trabajando.

#### 1.2.2.4 FACTOR DE SEGURIDAD

“Para el estudio de la estabilidad de taludes ya desde hace mucho tiempo se viene utilizando el concepto de equilibrio límite. [...] Este concepto de equilibrio límite supone que ante una falla inminente las fuerzas que actúan a favor del deslizamiento y las fuerzas que resisten el deslizamiento en la posible superficie de falla son iguales, por lo que el factor de seguridad es igual a 1.0. [...]” (Suarez, 1998, p.121).

“por lo que el factor de seguridad se utiliza para tener una idea de la amenaza que representa un corte o relleno en suelo con humedad y sobrecarga es decir con todas las sollicitaciones posibles ” (Suarez, 1998, p.123).

Entonces el factor de seguridad nos da una idea de cuan estable puede ser un talud, el cálculo de este se basa en las características mecánicas de los suelos como son: la cohesión, peso específico, el ángulo de estabilidad y la fricción.

Para el cálculo del factor de seguridad se disponen de distintos métodos los cuales se muestran en el cuadro N° 1

| Método  | Superficies de falla                       | Equilibrio                         | Características  |
|---|--|------------------------------------|--|
| Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)             | Circulares                                 | De fuerzas                         | Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros. Factores de seguridad bajos.   |
| Bishop simplificado (Bishop 1955)                     | Circulares                                 | De momentos                        | Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobredeterminada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.   |
| Janbú Simplificado (Janbú 1968)                       | Cualquier forma de superficie de falla.    | De fuerzas                         | Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobredeterminada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección $F_0$ para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.  |
| Sueco Modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970) | Cualquier forma de la superficie de falla. | De fuerzas                         | Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.  |
| Lowe y Karafiath (1960)                               | Cualquier forma de la superficie de falla. | De fuerzas                         | Asume que las fuerzas entre partículas están inclinados a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos. Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas.   |
| Spencer (1967)  | Cualquier forma de la superficie de falla. | Momentos y fuerzas                 | Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.   |
| Morgenstern y Price (1965)                            | Cualquier forma de la superficie de falla. | Momentos y fuerzas                 | Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.  |
| Sarma (1973)  | Cualquier forma de la superficie de falla. | Momentos y fuerzas                 | Asume que las magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla. Esto permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad. El factor de seguridad estático corresponde al caso de cero coeficiente sísmico. Satisface todas las condiciones de equilibrio; sin embargo, la superficie de falla correspondiente es muy diferente a la determinada utilizando otros procedimientos más convencionales. |
| Elementos finitos                                     | Cualquier forma de la superficie de falla. | Analiza esfuerzos y deformaciones. | Satisface todas las condiciones de esfuerzo. Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de los elementos, pero no se obtiene un factor de seguridad.   |

Cuadro N° 1. Métodos de análisis de estabilidad de taludes, Fuente: Suarez, 1998, p. 122

### **1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1 PROBLEMA GENERAL**

- ¿Qué relación tiene el estudio de la evapotranspiración del cultivo para el diseño de un reservorio en el distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019?

#### **1.3.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cómo influye la hidrología en la determinación de parámetros climatológicos para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019?
- ¿Cómo influye el requerimiento hídrico del cultivo para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019?
- ¿De qué manera influye el balance hídrico para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019?

### **1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

El presente estudio se justifica en la necesidad de implementar sistemas económicos y técnicamente viables para el almacenamiento de agua en zonas de escasos recursos hídricos y escasos recursos económicos, ya que a la fecha debido al cambio climático global, las zonas alto andinas del Perú están siendo afectadas por el déficit del recurso hídrico, acentuando aún más la pobreza en estas zonas.

### **1.5 HIPÓTESIS**

#### **1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL**

- Mediante el estudio de Evapotranspiración (ET) del cultivo, es posible el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019.

## **1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICOS**

- La hidrología influye en la determinación de los parámetros climatológicos para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019.
- El requerimiento hídrico del cultivo influye en el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019.
- El balance hídrico tiene influencia en determinar el volumen necesario para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019.

## **1.6 OBJETIVOS**

### **1.6.1 OBJETIVO GENERAL**

- Determinar la relación que tiene el estudio de evapotranspiración del cultivo para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019.

### **1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar la influencia de la hidrología en la determinación de parámetros climatológicos para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019.
- Evaluar la influencia del requerimiento hídrico del cultivo para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019.
- Evaluar la influencia del balance hídrico para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019.

## II. MÉTODO

“Mediante este método científico se puede investigar acontecimientos mediante la observación empírica, estos acontecimientos son verificables y de razonamiento riguroso, pudiéndose verificar mediante la observación y experimentación” (Tamayo, 2004, p.28).

La presente tesis tiene una fundamentación científica, ya que se está considerando la estabilidad de taludes a través de métodos basados en experimentación y ensayos, así como la observación y recopilación de información de temperaturas, humedad, vientos y horas de sol a través de las estaciones meteorológicas del área de influencia de la presente tesis.

### 2.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### 2.1.1 ENFOQUE

Para Hernández, Fernández y Baptista (2010, p.4), “El enfoque cuantitativo mediante la recopilación de información se puede poner a prueba las hipótesis, teniendo como base las mediciones y de ser el caso implementar la estadística para analizar los datos con la consecuente implementación de esquemas de comportamiento así como la demostración de teorías”

La presente investigación tendría un enfoque **cuantitativo**, porque las variables van a ser medidas mediante la obtención de información la cual puede ser cuantificada.

#### 2.1.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para Valderrama (2007, p. 29), “Mediante la investigación aplicada se busca tener conocimiento para posteriormente poder hacer, proceder, construir e innovar; el investigador se alinea con el interés para la aplicación inmediata de sus conocimientos en casos reales y prácticos”

Por lo que la investigación que se aplica en la presente sería del tipo **aplicada**, debido a que se va a poner en práctica los conocimientos anteriores para dar solución a una problemática identificada en un determinado lugar, que para nuestro caso la problemática es el déficit de agua para riego en el centro poblado de Santiago de Tuna.

#### 2.1.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Para Alvarado [et al.] (1994, p. 84), “Sostiene que mediante el análisis crítico y explicativo de fenómenos se busca responder a la ocurrencia de determinados fenómenos, así como

identificar la causa principal o el factor de riesgo asociado al mismo, [...] en conclusión se busca la correlación entre variables”.

Por lo expuesto por Alvarado, se puede concluir que la presente tesis o trabajo de investigación es **explicativo**, ya que se va a responder el volumen requerido de agua para riego y el consecuente diseño, mediante el conocimiento de la variación del requerimiento de agua de la agricultura en el área de investigación por la metodología implementada por la FAO.

#### **2.1.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

Para definir el diseño de investigación, Gustavo Ramón S. afirma que:

Todas las investigaciones y los diseños experimentales se intentan establecer las relaciones causa – efecto. Tal es que cuando se desea determinar como una variable independiente (causa) modifica o afecta una variable dependiente (efecto). (2000, p. 01).

Por la definición anterior podemos afirmar que el proyecto será del tipo **Analítica – Experimental**, ya que dependiendo del estudio de la variable independiente se obtendrán los resultados de la variable dependiente que en nuestro caso particular serán las dimensiones del reservorio.

#### **2.1.5 VARIABLES**

##### **2.1.5.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO**

Según el estudio de la FAO N° 56 sostiene que:

La unión de dos fenómenos físicos un evento que se ejecuta en la corteza terrestre como evaporación y otra en las plantas como transpiración, estos dos fenómenos determinan la llamada evapotranspiración (ET) de las plantas. (2006, p.22).

Para tener en claro la cantidad de agua que se necesita para una parcela es necesario el cálculo previo de ciertos parámetros como son: la evapotranspiración del cultivo y el coeficiente del cultivo ( $K_c$ ), previamente identificando el tipo de cultivo ya que los parámetros antes mencionados variaran según el tipo de cultivo y el clima de la zona de influencia.

##### **2.1.5.2 DISEÑO DE UN RESERVORIO**

En la presente investigación el diseño de un reservorio será a través del dimensionamiento adecuado del mismo, para lo cual se tendrá que conocer el volumen necesario a almacenar,

este volumen lo determinaremos mediante la evaluación de la evapotranspiración del cultivo, para posteriormente diseñar el reservorio con consideraciones geotécnicas ya que los muros del reservorio serán con materiales propios de la zona (suelo), por lo que se tendrá que considerar el análisis de la estabilidad de los taludes del muro en corte y relleno de la obra.

## 2.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Título: Estudio de evapotranspiración del cultivo para el diseño de un reservorio en distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019.

| VARIABLES                      | DEFINICIÓN CONCEPTUAL  | DEFENICIÓN OPERACIONAL   | DIMENSIONES                       | INDICADORES   | INSTRUMENTOS  | METODOLOGÍA   |
|--------------------------------|--|--|-----------------------------------|---|---|---|
| Evapotranspiración del Cultivo | FAO N° 56 (2006, P.22) :<br>“Se conoce como evapotranspiración (ET) a la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo [...]”. | La evapotranspiración del cultivo es la unión de dos procesos físicos y que está determinada por aspectos Hidrológicos como la precipitación, temperatura, viento y humedad, siendo estos previamente recopilados y procesados   | Hidrología                        | Precipitación<br>Temperatura del medio<br>Velocidad del viento<br>Humedad del medio | Recopilación de datos meteorológicos.<br>Procesamiento de datos meteorológicos.   | <b>Método:</b><br>Científico<br><b>Enfoque:</b><br>Cuantitativo<br><b>Tipo:</b><br>Aplicada |
|                                |  |  | Requerimiento hídrico del cultivo | Método Penman-Monteith<br>Cropwat   | Programa FAO - Cropwat  |   |
|                                |  |  | Balance hídrico                   | Método comparativo  | Programa BaHiCu 1.02  |   |
| Diseño de un reservorio        | Suarez (2012, p.11), afirma: “La Ingeniería geotécnica es el arte de analizar, diseñar y construir obras civiles con materiales térreos, tiene dos ramas principales: Ingeniería de fundaciones e Ingeniería de trabajos de movimiento de tierras” (p.11).   | El diseño de un reservorio será mediante el conocimiento del volumen requerido, las características del suelo y consideraciones geotécnicas, siendo necesario el conocimiento de propiedades mecánicas del suelo para determinar el factor de seguridad a través de los métodos de equilibrio limite | Propiedades mecánicas del suelo   | Peso específico del suelo<br>Cohesión del suelo<br>Angulo de fricción interna       | Ensayos de laboratorio:<br>Ensayo para determinar el peso específico.<br>Ensayo de granulometría<br>Ensayo de corte directo | <b>Nivel:</b><br>Explicativo<br><b>Diseño:</b><br>Analítica - Experimental                  |
|                                |  |  | Estabilidad de taludes            | Factor de seguridad<br><br>Métodos numéricos<br>Método de equilibrio limite         | Método ordinario de Fellenius.<br>Método simplificado de Bishop<br>Método simplificado de Jambu<br>Método de Spencer        |   |

**Tabla 2.1:** operacionalización de variables, Fuente: elaboración propia

## 2.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

### 2.3.1 POBLACIÓN

“La población está referida a la agrupación de elementos que son objeto de estudio estadístico” (Tamayo, 2004, p.24)

Para la presente tesis la población estaría dada por todos los cultivos del distrito de Santiago de Tuna.

### **2.3.2 MUESTRA**

Valderrama, indica que:

La muestra será una parte de un grupo o población seleccionada con una metodología adecuada, esta muestra será sometida a observación y/o experimentación en representación de toda la población para finalmente obtener conclusiones válidas. (2007, p.164).

En la presente tesis se analizan cual es el déficit de agua para un determinado cultivo en la zona denominada Lechica, del Distrito de Santiago de Tuna, por lo tanto la muestra al ser seleccionada será no aleatoria.

Velasco et al. (2003), indica que:

Un muestreo no aleatorio o no probabilístico es aquel donde la probabilidad de selección de cada elemento para la muestra no es igual ni conocida.

Por lo descrito anteriormente podemos afirmar que la muestra en el presente estudio es del tipo no aleatorio.

## **2.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

[...] Para la recolección de datos será necesario el uso de distintos métodos y técnicas, pudiéndose obtener datos mediante la observación, cuestionarios y la toma de datos, todo ello con la finalidad de sistematizar información que será útil para una investigación. [...]. (Carrasco, 2006, pág. 174).

En la presente tesis será la observación y la toma de datos las técnicas a seguir para el posterior procesamiento de datos y lograr los objetivos de la investigación, todo ello se lograra con la visita o trabajo de campo en el Distrito de Santiago de Tuna en la Provincia de Huarochirí, Región Lima.

## **2.5 VALIDEZ Y CONFIABILIDAD**

### **2.5.1 VALIDEZ**

Para Valarino *et al.* (2015), sostienen que:

Mediante la validez podemos decir que tan acertado se está en los estudios realizados ya que la validez está referida al grado de seguridad que se pone en las mediciones y toma de datos del fenómeno en estudio por el que el observador podrá afirmar el grado de veracidad de su observación o medición (p.227).

La validez en la presente tesis será medida mediante la obtención de los resultados obtenidos de la necesidad hídrica del cultivo para el diseño posterior de un reservorio de regulación periódica.

### **2.5.2 CONFIABILIDAD**

Valarino *et al.* (2015), sostiene que: “La confiabilidad está relacionada a la utilización de instrumentos al conformar que los instrumentos utilizados medirán lo mismo cada vez que se repita el proceso ya sea por otros observadores bajo condiciones ambientales similares”. (p.229).

En la presente tesis la confiabilidad está sustentada primeramente por la experiencia del asesor y la utilización de instrumentos certificados, en cuanto a las teorías relacionadas a la evapotranspiración la confiabilidad se basa en los estudios previos realizados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, esta Organización emite publicaciones sobre como es el proceso de cálculo para la determinación de la evapotranspiración de los cultivos a través de la evapotranspiración.

## **2.6 MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS**

"Todos los métodos de recopilación y procesamiento de datos serán elegidas en función a las preguntas claves y los objetivos del estudio así como los recursos con que se disponen para su evaluación". (León y Montero, 2003).

Para la validación de las hipótesis es necesario la realización de trabajos de campo consistente en la recolección de datos de las estaciones meteorológicas y la identificación del tipo de cultivo el cual nos definirá la denominada cedula de cultivo, a su vez este nos dará los datos para la obtención del coeficiente del cultivo “Kc” finalizando con la determinación de la evapotranspiración del cultivo.

A si mismo las trabajos de campo conllevan al estudio visual del área de influencia de la presente investigación, así como a la ejecución de calicatas para la toma de muestras de suelo y la realización de los ensayos de laboratorio correspondientes para la obtención de los características mecánicas del suelo materia de la presente tesis.

También fue necesario trabajos en laboratorio para los ensayos de densidad, granulometría y corte directo del suelo materia de la presente tesis.

Por lo tanto el método que se empleará en este estudio es el cuantitativo.

## 2.6.1 ENSAYOS REALIZADOS

### 2.6.1.1 Ensayo para determinar la granulometría del suelo

#### Ubicación de la calicata

La calicata se apertura en la parte central del área donde se ejecutara el proyecto la cual está ubicada en la zona denominada Lechica en el Distrito de Santiago de Tuna.



Figura 10. Imagen satelital de la calicata, Fuente: Google Earth



Figura 9. Excavación de calicatas, Fuente: Elaboración propia

#### **2.6.1.1.1 Equipos y procedimiento**

Se sigue la norma NTP 339.128 / ASTM D 422. Se usaron los siguientes equipos.

Tamices de 8'' de diámetro, según norma con aperturas de: 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200, con fondo y tapa

Balanza que tiene una aproximación al 0.1% del peso del material que está siendo ensayado.

Horno con temperatura de 110 +/- 5°C

Siguiendo la norma, se realiza el procedimiento mediante el cual se tamiza el material previamente cuarteado y secado en el horno para identificar los porcentajes de del suelo según su granulometría.

#### **2.6.1.1.2 Ensayo para determinar el peso específico del suelo**

Para este ensayo se sigue la norma NTP 339.131.

Instrumentos a utilizarse:

Balanza con aproximación de  $\pm 0.01$  gr.

Fiola (frasco volumétrico) 500cm<sup>3</sup>.

Pipeta.

Este método es de medición indirecta mediante la cual se determinara la gravedad específica del suelo, ya que se mide el volumen de agua que este desplazando en la fiola.

#### **2.6.1.1.3 Ensayo de corte directo**

El ensayo de corte directo se realiza con un equipo que consta de dos semicajas superior e inferior los cuales son móviles entre sí, entre estas semicajas se coloca la muestra de suelo. Para aplicarles fuerzas verticales mediante pesos colocados en el aparato.

Seguidamente se aplican esfuerzos horizontales (Q), anotándose las deformaciones horizontales producidas por este esfuerzo.

Esta actividad se repite hasta por 6 veces, cuyos puntos de rotura tabulados nos permite obtener la recta de ajuste, así como el ángulo de fricción interna del suelo, y la cohesión del suelo.

## 2.6.1.2 Proceso de diseño

### 2.6.1.2.1 Información meteorológica

Para la recopilación de información meteorológica se ha utilizado la estación meteorológica de Matucana y la estación pluviométrica de Santiago de Tuna, estos datos se anexan en los anexos, en la tabla N° 6 se muestra el procesamiento de los datos cuyos resultados serán el input para el cálculo de la evapotranspiración de referencia mediante el programa CROPWAT, programa que utiliza los cálculos definidos en el marco teórico de la presente tesis, este programa fue implementado por la FAO, la cual se encuentra con licencia libre en la página web de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación por sus siglas en inglés).

| Dia/mes/año | Temperatura (°c) |       |      | Humedad (%) | Lluvia (mm) | Velocidad del Viento (m/s) |
|-------------|------------------|-------|------|-------------|-------------|----------------------------|
|             | Prom             | Max   | Min  |             |             |                            |
| Enero       |                  | 22.40 | 9.20 | 81.00       | 129.60      | 762.40                     |
| Febrero     |                  | 22.40 | 9.20 | 81.00       | 125.50      | 762.40                     |
| Marzo       |                  | 22.40 | 9.20 | 81.00       | 245.70      | 762.40                     |
| Abril       |                  | 22.40 | 9.20 | 81.00       | 366.20      | 762.30                     |
| Mayo        |                  | 22.40 | 9.20 | 81.00       | 607.20      | 762.30                     |
| Junio       |                  | 22.40 | 9.20 | 80.00       | 970.10      | 762.20                     |
| Julio       |                  | 22.40 | 9.20 | 81.00       | 1575.50     | 762.20                     |
| Agosto      |                  | 22.40 | 9.20 | 80.00       | 2545.60     | 762.10                     |
| Setiembre   |                  | 22.40 | 9.20 | 80.00       | 4121.10     | 762.00                     |
| Octubre     |                  | 22.40 | 9.20 | 80.00       | 6666.00     | 762.00                     |
| Noviembre   |                  | 22.40 | 9.20 | 80.00       | 10779.00    | 761.90                     |
| Diciembre   |                  | 22.40 | 9.20 | 79.00       | 17443.80    | 761.80                     |

Tabla N° 6, resultados del procesamiento de datos meteorológicos de la estación Matucana año 2018. Fuente: elaboración propia.

### 2.6.1.2.2 Cálculo de la Evapotranspiración de referencia por el método de FAO Penman - Monteith

Los datos procesados en la tabla N° 6 se ingresan al programa CROPWAT para obtener los valores de la evapotranspiración de referencia ( ETo), para cada mes, en la tabla N° 7 se muestran los resultados del programa.

| MONTHLY ETO PENMAN-MONTEITH DATA<br>(File: untitled) |                |                |                    |             |                     |                               |               |
|--|----------------|----------------|--------------------|-------------|---------------------|-------------------------------|---------------|
| Country: MATUCANA - LIMA                             |                |                | Station: MATUCANA  |             |                     |                               |               |
| Altitude: 2417 m.                                    |                |                | Latitude: 11.84 °S |             | Longitude: 76.38 °W |                               |               |
| Month  | Min Temp<br>°C | Max Temp<br>°C | Humidity<br>%      | Wind<br>m/s | Sun<br>hours        | Rad<br>MJ/m <sup>2</sup> /day | ETo<br>mm/day |
| January  | 9.2            | 22.4           | 78                 | 2.0         | 2.0                 | 13.2                          | 2.96          |
| February   | 9.6            | 22.6           | 81                 | 2.2         | 2.0                 | 13.1                          | 2.90          |
| March  | 9.7            | 21.6           | 85                 | 1.8         | 2.0                 | 12.5                          | 2.58          |
| April  | 9.6            | 21.5           | 79                 | 1.9         | 4.0                 | 14.3                          | 2.84          |
| May  | 8.0            | 23.0           | 65                 | 2.2         | 4.0                 | 12.9                          | 3.08          |
| June   | 9.4            | 22.2           | 45                 | 2.1         | 8.0                 | 17.1                          | 3.73          |
| July   | 9.1            | 22.6           | 42                 | 2.1         | 8.0                 | 17.5                          | 3.88          |
| August   | 9.5            | 26.3           | 41                 | 2.4         | 8.0                 | 19.2                          | 4.79          |
| September  | 8.4            | 24.4           | 47                 | 2.6         | 8.0                 | 21.1                          | 4.93          |
| October  | 10.4           | 23.0           | 55                 | 2.3         | 8.0                 | 22.2                          | 4.72          |
| November   | 9.1            | 23.4           | 58                 | 2.5         | 8.0                 | 22.6                          | 4.81          |
| December   | 9.0            | 23.4           | 63                 | 2.5         | 4.0                 | 16.3                          | 3.95          |
| Average  | 9.3            | 23.0           | 62                 | 2.2         | 5.5                 | 16.8                          | 3.77          |

Tabla N° 7, Resultados del cálculo de la evapotranspiración de referencia ETo con el programa CROPWAT. Fuente: elaboración propia.

### 2.6.1.2.3 Determinación del módulo de riego en la zona de cultivo

Mediante el uso de tablas se determinó los valores de Kc del módulo de cultivo, los cuales se presentan en la tabla N° 8, en este cuadro también se muestra la cantidad de hectáreas para cada tipo de cultivo, el cual servirá para la ponderación del coeficiente del cultivo Kc.

Cabe destacar que el área a mejorar será de 100 Ha, distribuido en 20 Ha para la Tuna, 40 Ha para el Durazno y 40 Ha para el Ciruelo

| CULTIVO        | AREA (Has) | M     |       |        | E      |        |        | S      |        | E      |     | S   |     |
|----------------|------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|
|                |            | ENE   | FEB   | MAR    | ABR    | MAY    | JUN    | JUL    | AGO    | SET    | OCT | NOV | DIC |
| <i>TUNA</i>    | 20.00      |       |       | 0.35   | 0.40   | 0.75   | 0.75   | 0.70   | 0.65   | 0.60   |     |     |     |
| <i>DURAZNO</i> | 40.00      | 0.80  | 0.85  | 0.90   | 1.00   | 1.10   | 1.10   | 1.20   | 1.05   | 0.95   |     |     |     |
| <i>CIRUELO</i> | 40.00      | 0.75  | 0.85  | 1.00   | 1.10   | 1.10   | 1.00   | 0.95   | 0.85   | 0.75   |     |     |     |
| AREA           | 100.00     | 80.00 | 80.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |     |     |     |

Tabla N° 8, Coeficiente de cultivo (Kc) por etapas de desarrollo. Fuente: Comité de riego del Distrito de Santiago de Tuna.

#### 2.6.1.2.4 Requerimiento hídrico del cultivo

Para el cálculo del requerimiento hídrico utilizaremos la relación del coeficiente del cultivo Kc y la evapotranspiración de referencia ETo, con lo cual podremos determinar la evapotranspiración del cultivo ETc., en la tabla N° 9 se muestra el Kc ponderado por su respectiva área de cultivo.

| CULTIVO           | AREA (Has) | M     |       |        | E      |        |        | S      |        | E      |      | S    |      |
|-------------------|------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|
|                   |            | ENE   | FEB   | MAR    | ABR    | MAY    | JUN    | JUL    | AGO    | SET    | OCT  | NOV  | DIC  |
| <i>TUNA</i>       | 20.00      |       |       | 7.00   | 8.00   | 15.00  | 15.00  | 14.00  | 13.00  | 12.00  |      |      |      |
| <i>DURAZNO</i>    | 40.00      | 32.00 | 34.00 | 36.00  | 40.00  | 44.00  | 44.00  | 48.00  | 42.00  | 38.00  |      |      |      |
| <i>CIRUELO</i>    | 40.00      | 30.00 | 34.00 | 40.00  | 44.00  | 44.00  | 40.00  | 38.00  | 34.00  | 30.00  |      |      |      |
| <i>SUMA TOTAL</i> | 100.00     | 80.00 | 80.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| KC ponderado      | 100.00     | 0.78  | 0.85  | 0.83   | 0.92   | 1.03   | 0.99   | 1.00   | 0.89   | 0.80   |      |      |      |

Tabla N° 9, Coeficiente de cultivo (Kc) ponderado. Fuente: Elaboración propia.

### 2.6.1.2.5 Demanda de agua para los cultivos

| DEMANDA DE AGUA DEL AREA DE ESTUDIO |           |           |           |           |            |            |            |            |            |         |           |           |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|---------|-----------|-----------|
| PARAMETROS                          | ENERO     | FEBRERO   | MARZO     | ABRIL     | MAYO       | JUNIO      | JULIO      | AGOSTO     | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
| Eto día (mm)                        | 2.96      | 2.9       | 2.58      | 2.84      | 3.08       | 3.73       | 3.88       | 4.79       | 4.99       | 4.72    | 4.81      | 3.95      |
| Eto (mm)                            | 91.76     | 81.20     | 79.98     | 85.20     | 95.48      | 111.90     | 120.28     | 148.49     | 147.90     | 146.32  | 144.30    | 122.45    |
| Kc ponderado                        | 0.78      | 0.85      | 0.83      | 0.92      | 1.03       | 0.99       | 1.00       | 0.89       | 0.80       |         |           |           |
| Etc (mm)                            | 71.57     | 69.02     | 66.38     | 78.38     | 98.34      | 110.78     | 120.28     | 132.16     | 118.32     |         |           |           |
| PT (mm)                             | 48.30     | 75.90     | 75.40     | 12.10     | 2.10       | 0.50       | 0.20       | 0.10       | 0.10       |         |           |           |
| PE (mm)                             | 36.23     | 56.93     | 56.55     | 9.08      | 1.58       | 0.38       | 0.15       | 0.08       | 0.08       |         |           |           |
| DEMANDA (mm)                        | 35.35     | 12.10     | 9.83      | 69.31     | 96.77      | 110.41     | 120.13     | 132.08     | 118.25     |         |           |           |
| AREA (Ha)                           | 100.00    | 100.00    | 100.00    | 100.00    | 100.00     | 100.00     | 100.00     | 100.00     | 100.00     |         |           |           |
| EFICIENCIA DE RIEGO                 | 0.90      | 0.90      | 0.90      | 0.90      | 0.90       | 0.90       | 0.90       | 0.90       | 0.90       |         |           |           |
| DEMANDA TOTAL MENSUAL (m3)          | 39,275.33 | 13,438.89 | 10,926.00 | 77,010.00 | 107,521.56 | 122,673.33 | 133,477.78 | 146,756.78 | 131,383.33 |         |           |           |
| DEMANDA DIARIA (m3)                 | 1,266.95  | 479.96    | 352.45    | 2,567.00  | 3,468.44   | 4,089.11   | 4,305.73   | 4,734.09   | 4,379.44   |         |           |           |
| DIAS/MES                            | 31.00     | 28.00     | 31.00     | 30.00     | 31.00      | 30.00      | 31.00      | 31.00      | 30.00      | 31.00   | 30.00     | 31.00     |
| CAUDAL DE RIEGO (DIA) Lt/s          | 14.66     | 5.56      | 4.08      | 29.71     | 40.14      | 47.33      | 49.83      | 54.79      | 50.99      | 0.00    | 0.00      | 0.00      |

### 2.6.1.2.6 Balance hídrico

| BALANCE HIDRICO             |            |            |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|-----------------------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| MESES                       | ENERO      | FEBRERO    | MARZO     | ABRIL      | MAYO       | JUNIO      | JULIO      | AGOSTO     | SEPTIEMBRE | OCTUBRE    | NOVIEMBRE  | DICIEMBRE  |
| AGUA POR CONVENIO           | 31.00      | 28.00      | 8.00      | 8.00       | 8.00       | 8.00       | 8.00       | 8.00       | 8.00       | 12.00      | 12.00      | 12.00      |
| CAUDAL DE LA FUENTE (Lt/s)  | 100.00     | 100.00     | 100.00    | 100.00     | 100.00     | 100.00     | 100.00     | 100.00     | 100.00     | 100.00     | 100.00     | 100.00     |
| OFERTA DE AGUA (m3)         | 267,840.00 | 241,920.00 | 69,120.00 | 69,120.00  | 69,120.00  | 69,120.00  | 69,120.00  | 69,120.00  | 69,120.00  | 103,680.00 | 103,680.00 | 103,680.00 |
| OFERTA MANANTIALES (m3)     |            |            |           | 130,924.00 | 139.37     | 120.07     | 127,666.00 | 130.33     | 196.52     |            |            |            |
| OFERTA TOTAL (m3)           |            |            |           | 200,044.00 | 69,259.37  | 69,240.07  | 196,786.00 | 69,250.33  | 69,316.52  |            |            |            |
| DEMANDA DE AGUA (m3)        | 39,275.33  | 13,438.89  | 10,926.00 | 77,010.00  | 107,521.56 | 122,673.33 | 133,477.78 | 146,756.78 | 131,383.33 |            |            |            |
| DEFICIT HIDRICO             |            |            |           |            | -38,262.19 | -53,483.26 | 63,308.22  | -77,506.45 | -62,066.81 |            |            |            |
| VOLUMEN DEL RESERVORIO (M3) | 167,000.00 |            |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |

Por lo que el reservorio a diseñar tendrá un volumen de 167,000 m3

### 2.6.1.2.7 DISEÑO DEL RESERVORIO

Con el volumen requerido de 167,000 pasamos a dimensionar el reservorio, obteniéndose las medidas para un reservorio cuadrangular de 145 metros de lado con una profundidad de 8 metros.

Con estas medidas se pasa a replantear en el levantamiento topográfico obteniéndose los volúmenes de tierra necesarios a excavar y rellenar, es en esta etapa de diseño donde se requiere la evaluación de los taludes que tendrán el reservorio, para ello haremos uso de los

conceptos teóricos señalados en el marco teórico y con la ayuda del software SLIDE, de licencia libre.

De los ensayos de laboratorio se tiene para la zona de estudio que es un tipo de suelo según la clasificación SUCS como SC con grava.

Así mismo del corte directo se extraen los datos necesarios para el cálculo de la estabilidad de taludes como son:

Cohesión del suelo =  $0.03 \text{ kg/cm}^2$

Angulo de fricción del suelo =  $28.06^\circ$

Con estos datos procedemos a ingresar la información al programa SLIDE, cuyos resultados se muestran a continuación:

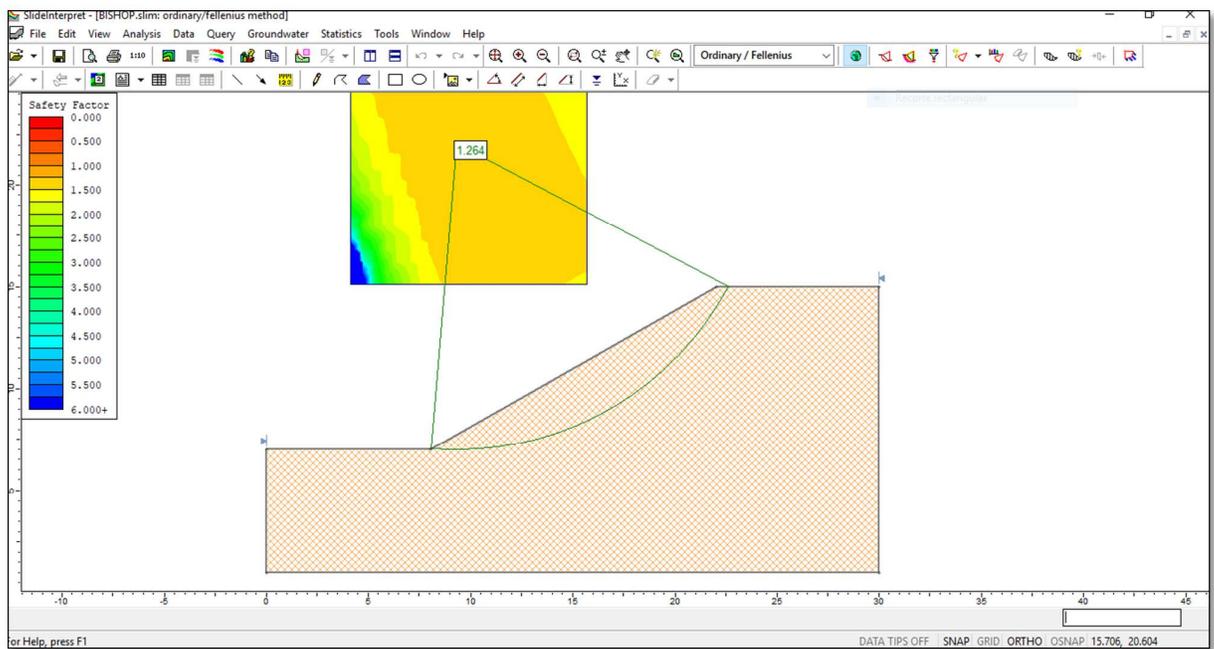


Figura 7. Método ordinario de Fellenius, Fuente: elaboración propia (F.S. = 1.264)

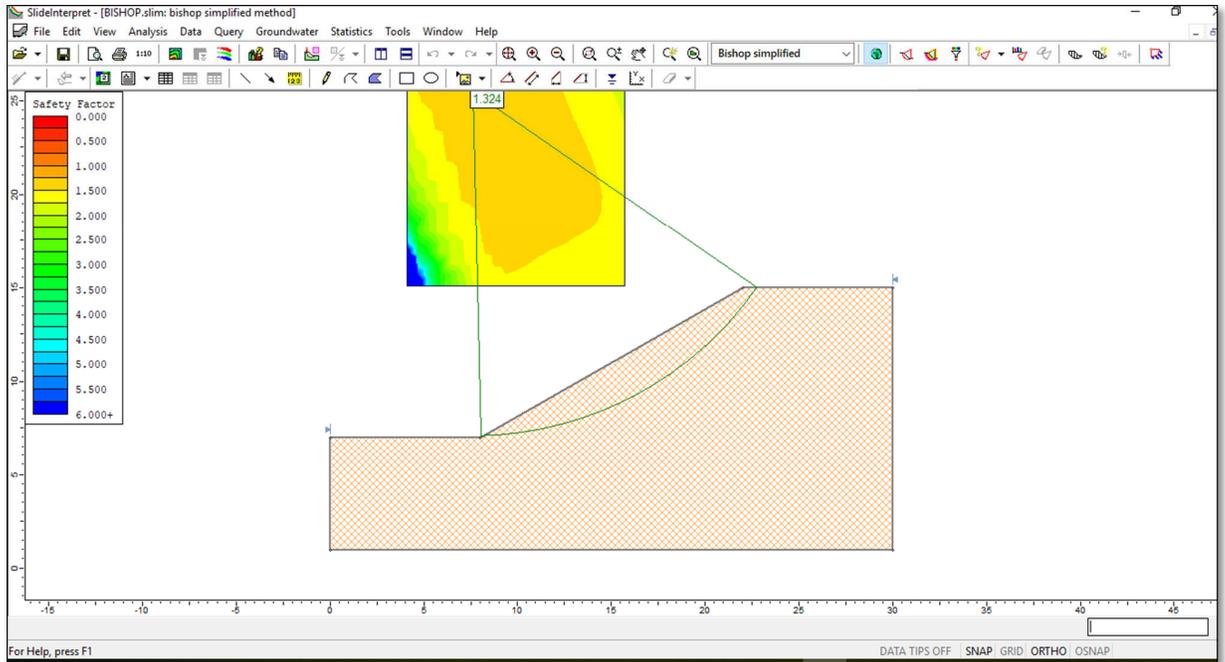


Figura 8. Método simplificado de Bishop, Fuente: elaboración propia (F.S. = 1.324)

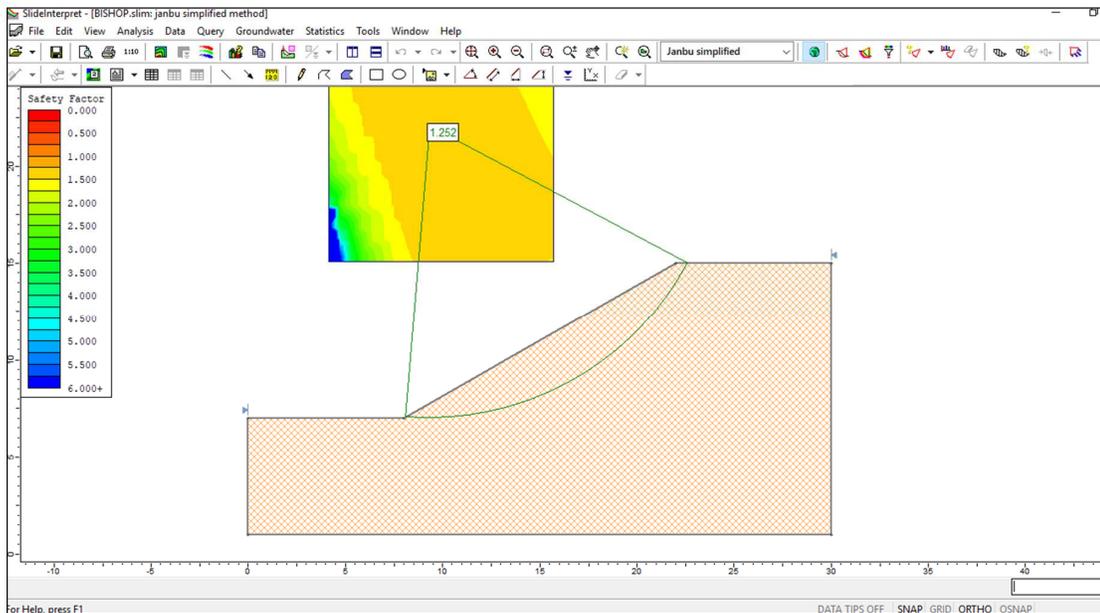


Figura 9. Método simplificado de Janbu, Fuente: elaboración propia (F.S. = 1.252)

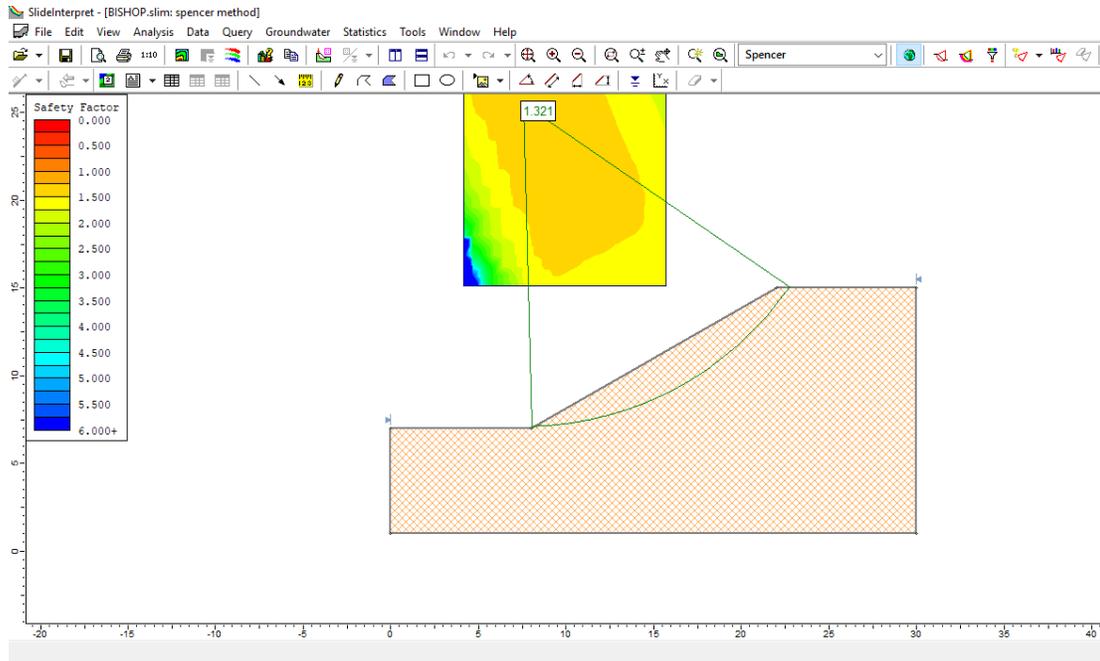


Figura 10. Método de Spencer, Fuente: elaboración propia (F.S. = 1.321)

## 2.7 ASPECTOS ÉTICOS

En el desarrollo de la presente tesis se ha utilizado material bibliográfico e información de tesis relacionadas al tema de estudio así como de otras fuentes, las cuales serán referenciadas por la norma ISO 690

### **RESPECTO**

Durante el desarrollo de la presente tesis en todo momento la información recopilada será debidamente referenciada, así mismo todo lo descrito contiene información veraz y verificable.

### **HONESTIDAD:**

La honestidad está presente durante todo el desarrollo de la presente tesis ya que se es honesto con el procesamiento de datos, la utilización de programas y la utilización de fuentes confiables.

## 2.8 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

### 2.8.1 RECURSOS Y PRESUPUESTOS

Los recursos y presupuestos han sido asumidos por el investigador para lo cual se muestra en la tabla N° 3.1.

### 2.8.2 RECURSOS HUMANOS

Está dado por todas las personas participantes de la presente tesis desde los docentes, laboratoristas hasta el personal de campo que ejecuto las calicatas, siendo el personal clave de la presente investigación:

- Ricra Umeres, Wilfredo

Asimismo, la participación del asesor:

- Dr. Ing. Luis Vargas Chacaltana

### 2.8.3 RECURSOS MATERIALES

| Etapa        | Rubro                   | Cantidad | Unidad medida | Precio unitario (nuevos soles) | Total (nuevos soles) |
|--------------|-------------------------|----------|---------------|--------------------------------|----------------------|
| PI           | Laptop                  | 4        | Mes           | 50.00                          | 200.00               |
|              | Útiles de oficina       | 1        | Global        | 100.00                         | 100.00               |
|              | Acceso a internet       | 4        | Mes           | 60.00                          | 240.00               |
|              | Impresora canon         | 1        | Unidad        | 770.00                         | 770.00               |
|              | Recarga de tinta        | 2        | Unidad        | 55.00                          | 110.00               |
|              | Anillados               | 2        | Unidad        | 6.00                           | 12.00                |
|              | Libros                  | 6        | Unidad        | 80.00                          | 480.00               |
|              | Disco externo           | 1        | Unidad        | 280.00                         | 280.00               |
|              | Subtotal 1              |          |               | S/.                            | 2192.00              |
| DPI          | Laptop                  | 4        | Meses         | 50.00                          | 200.00               |
|              | Útiles de oficina       | 1        | Global        | 300.00                         | 300.00               |
|              | Acceso a internet       | 4        | Meses         | 60.00                          | 240.00               |
|              | Transporte y refrigerio | 4        | Meses         | 300.00                         | 1200.00              |
|              | Recarga de tinta        | 3        | Unidad        | 55.00                          | 165.00               |
|              | anillados               | 8        | Unidad        | 6.00                           | 48.00                |
|              | EPP                     | 1        | Global        | 300.00                         | 300.00               |
|              | Ensayo de materiales    | 1        | Unidad        | 1800.00                        | 1800.00              |
|              | Subtotal 2              |          |               | S/.                            | 4253.00              |
| <b>TOTAL</b> |                         |          | S/.           | <b>6445.00</b>                 |                      |

**Tabla 3.1:** Recursos y presupuesto

Fuente: elaboración propia

## **2.9 FINANCIAMIENTO**

El presente proyecto de investigación será autofinanciado.

### **III. RESULTADOS:**

#### **3.1 EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA HIDROLOGÍA Y EL TIPO DE CULTIVO EN EL CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN.**

De la investigación realizada se ha podido demostrar que la hidrología a través de los datos de las temperaturas máximas y mínimas, humedad, velocidad del viento y radiación solar influye en el cálculo de la evapotranspiración. Tal como se puede ver en los reportes del programa adjuntado en el anexo.

#### **3.2 EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL SUELO EN EL DISEÑO DEL RESERVORIO**

Obtenido el volumen necesario para el requerimiento de agua de los cultivos se procedió con el diseño geométrico del reservorio es en esta etapa que se determinó que el reservorio tendría una altura de 8 metros, como el reservorio será construido en corte y relleno se debe de verificar el talud de corte y relleno del reservorio, para ello se determinó mediante ensayos de laboratorio algunas propiedades mecánicas del suelo, necesarias para el cálculo como son la cohesión, el ángulo de fricción y el peso específico del suelo.

Por lo tanto se concluye que las propiedades mecánicas del suelo influyen en el diseño del reservorio.

#### **3.3 EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD PARA EL DISEÑO ÓPTIMO DEL RESERVORIO**

Es mediante el estudio de estabilidad de taludes que encontramos el ángulo estable y seguro para el reservorio diseñado, ya que si este ángulo fuese muy amplio el talud no sería estable a pesar que esto incide en el movimiento de tierras reduciendo la inversión; por otro lado si el ángulo fuese muy pequeño incidiría en los costos de inversión aun cuando el talud sería bastante estable, por lo que el análisis de estabilidad de taludes influye en el diseño optimo del reservorio.

## **IV. DISCUSIÓN**

### **1.- DISCUSIÓN N° 1**

#### **OBJETIVO GENERAL:**

“Determinar la relación que tiene el estudio de evapotranspiración del cultivo para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019”.

H1: “Mediante el estudio de la Evapotranspiración (ET) del cultivo, es posible el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019”.

En el estudio de Albites Paico “Diseño de un Sistema de Riego por Goteo para el Cultivo de Palto Hass en parcela de 22 ha del Subsector de Riego Ferreñafe” (2015), llega a la conclusión de que aun contando con un pozo tubular para riego el volumen de esta estructura no es suficiente para el riego de la palta Hass, esto lo determino mediante el cálculo de la evapotranspiración del palto Has, encontrando un déficit de 6,464 m<sup>3</sup> de agua, el cual sería remediado con la construcción de un reservorio.

### **2.- DISCUSIÓN N° 2**

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

“Evaluar la influencia de la hidrología en la determinación de parámetros climatológicos para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019”.

H2: “La hidrología influye en la determinación de los parámetros climatológicos para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019”.

En el estudio de Albites Paico “Diseño de un Sistema de Riego por Goteo para el Cultivo de Palto Hass en parcela de 22 ha del Subsector de Riego Ferreñafe” (2015), el autor determina el déficit hídrico del palto Hass en la zona mediante el cálculo de la evapotranspiración de referencia, este cálculo se realiza mediante el estudio hidrológico

utilizando variables climatológicas como son la temperatura, humedad y velocidad del viento, así mismo para el cálculo final de la evapotranspiración del cultivo utiliza el coeficiente del cultivo el cual varía según el tipo de planta a analizar, por lo que se hace evidente de la influencia en el volumen del reservorio a diseñar.

### **3.- DISCUSIÓN N° 3:**

“Evaluar la influencia del requerimiento hídrico del cultivo para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019”.

H3: El requerimiento hídrico del cultivo influye en el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019.

Sullcahuaman, “Diseño a nivel de Pre Factibilidad del Sistema de Represamiento Acroco Para el Afianzamiento Hídrico del Sistema de Riego Chulluhuayco, Ayacucho” (2018), El autor realiza un estudio de requerimiento hídrico de los cultivos en épocas de estiaje mediante lo cual determina el volumen necesario de la represa, así mismo plantea la solución al problema de déficit hídrico basado en los conceptos de cosecha de agua de lluvia.

De igual manera en la presente tesis evidenciamos la influencia del requerimiento hídrico del cultivo en el distrito de Santiago de Tuna para la determinación del volumen necesario del reservorio con lo cual se podrá regar las plantaciones de frutales en épocas de estiaje.

### **4.- DISCUSIÓN N° 4:**

“Evaluar la influencia del balance hídrico para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019”.

H4: El balance hídrico tiene influencia en determinar el volumen necesario para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019.

En el estudio de Albites Paico “Diseño de un Sistema de Riego por Goteo para el Cultivo de Palto Hass en parcela de 22 ha del Subsector de Riego Ferreñafe” (2015), el autor determina el déficit hídrico del palto Hass en la zona mediante el cálculo de la evapotranspiración de referencia, este cálculo se realiza mediante el estudio hidrológico utilizando variables climatológicas, luego efectuando el balance hídrico obtiene el volumen para el reservorio siendo este de 6,460 m<sup>3</sup>, por lo que se hace evidente la influencia del análisis del balance hídrico para determinar el volumen del reservorio a diseñar.

De igual manera en el reservorio diseñado de la presente tesis se realizó el balance hídrico del cultivo es decir se efectuó la diferencia entre la demanda y la oferta del recurso hídrico disponible obteniéndose que el volumen óptimo del reservorio sería de 167,000 m<sup>3</sup>.

## V. CONCLUSIONES

1. Al evaluar la relación que tiene la Evapotranspiración del cultivo para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019. Se ha podido demostrar que mediante los cálculos con la metodología de la FAO Penman – Monteith, se ha determinado el déficit hídrico de los cultivos como son el durazno, ciruelo y la tuna lo cual nos lleva a la conclusión de que existe un déficit de 167,000 m<sup>3</sup>, por lo que, para remediar esta problemática será necesario la construcción de un reservorio con el volumen requerido.
2. Al evaluar la hidrología del área de influencia del estudio se determinó parámetros hidrológicos los cuales al ser procesados determinan valores necesarios para la aplicación de la metodología FAO en el cálculo de la evapotranspiración.
3. Evaluando el requerimiento hídrico y el tipo de cultivo mediante el cálculo correcto de la evapotranspiración para el diseño de un reservorio en el distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019, mediante la metodología de la FAO se ha podido determinar que la influencia es en dos aspectos: el aspecto climático a través de la evapotranspiración de referencia y el tipo de cultivo a través de la determinación del factor de cultivo Kc. Con los cuales se ha podido calcular finalmente la evapotranspiración del cultivo.
4. En la evaluación del balance hídrico se pudo determinar el volumen requerido del reservorio para el riego del área en estudio, siendo esta área de 100 hectáreas de frutales tales como durazno y ciruelo.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Para el estudio de la evapotranspiración de referencia se recomienda el procesamiento de datos meteorológicos de un año como mínimo, sin embargo a mayor tiempo de datos aproximaremos a valores más confiables de la evapotranspiración de referencia, así mismo se sabe que no en todo los lugares de interés se cuenta con una estación meteorológica en este caso se puede utilizar estaciones de alturas similares y cercanas a la zona de estudio, así mismo será necesario la obtención de valores del coeficiente del cultivo de la zona de estudio, ya que estos valores son propios de la zona aun cuando existan publicaciones de valores para cierto tipo de productos.
2. Se recomienda la utilización del método de la FAO Penman – Montith, para los cálculos de la evapotranspiración ya que han demostrado ser confiables en distintas regiones del mundo con errores mínimos según los estudios de investigación realizados por la FAO.
3. Para los cálculos de la evapotranspiración y la estabilidad de taludes al ser estos de muchos procesos e iterativos se recomienda la utilización de software que sean de uso común y probado por ingenieros en las actividades de ingeniería que ellos realizan, ya que por las obras ejecutadas y que están en funcionamiento se pueden evidenciar el funcionamiento de esos programas.
4. Se recomienda mayor investigación en cuanto se refiere a los valores del coeficiente de cultivo  $K_c$ , ya que al contar con una gran variedad de productos y formas de cultivos especialmente en zonas alto andinas estas tienen mucha variación lo cual podrían inducir al error si no es manejado adecuadamente.
5. Se recomienda la construcción de un reservorio con materiales sueltos de la zona, previo a esto deberá realizarse los estudios de mecánica de suelos y geología de la zona para obtener taludes adecuados y estables.

## REFERENCIAS

- Gómez Navarro, J. L y Arcil J. J. Saltos de agua y presas de embalse. 1944.
- Grishin M. M. Estructuras Hidráulicas. Tomo 1 Mir. Moscú. 1974.
- Marsal, R. Presas de tierra y enrocamiento. 1983
- Villamizar C., A. Diseño de Presas de Tierra para Pequeños Almacenamientos, Himat 1989.
- Memorandos técnicos varios - Gerencia Regional Arequipa  
Debernardo, Héctor. La asignatura pendiente en las Organizaciones.  
[www.geocities.com/jgozio/PROD/ Art\\_TOC\\_meta\\_de\\_las\\_org.doc](http://www.geocities.com/jgozio/PROD/Art_TOC_meta_de_las_org.doc).
- Ludeña Gutiérrez, Lucas. Influencia de bermas y canales en la estabilidad de pilas de lixiviación. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2014.  
Disponible en <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4468>
- Yalán León, Neil. Análisis comparativo de los métodos de estabilidad de taludes aplicados en la presa de tierra del depósito de relaves Bateas. Informe de suficiencia (ingeniero civil). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2015.  
Disponible en <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/5557>
- Aguilar Goenaga, Oscar y ZUÑIGA Romero, Camilo. Análisis comparativo de estabilidad de taludes mediante los métodos de equilibrio limite aplicado a taludes o laderas alledañas al Cerro de la Popa, casco urbano de Cartagena. Tesis (Ingeniero Civil). Cartagena: Universidad de Cartagena, 2015.  
Disponible en <http://repositorio.unicartagena.edu.co:8080/jspui/handle/11227/2089>
- Coliente Tlaxcalteca, Alfredo. Inestabilidad de laderas y taludes. Maestría (Ingeniería Civil). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.  
Disponible en <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/3903>
- Das, Braja. Fundamentos de ingeniería geotécnica. 4ta edición. México: Cengage Learning Editores, 2013. 636 pp.  
ISBN: 978-1-111-57675-2

Pérez, Eduardo. Estabilidad de taludes [en línea]. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de ingeniería del terreno, cartografía y geofísica.2005 [fecha de consulta: 15 de mayo del 2018]

Disponible en [https://portal.camins.upc.edu/materials\\_guia/250339/2015/Tema5--Taludes.pdf](https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250339/2015/Tema5--Taludes.pdf)

Lambe, William y Whitman, Robert. Mecánica de suelos. México: Editorial Limusa, 2001. 582 pp.

ISBN: 968-18-1894-5

Suarez, Jaime. Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda., 1998. 548 pp.

ISBN: 958-33-0800-5

Tamayo, Mario. El proceso de la investigación científica. México D.F.: Limusa, 2004, 440 pp.

ISBN: 968-18-5872-7

Valderrama, Santiago. Pasos para elaborar proyectos y tesis de investigación científica. Lima: Editorial San Marcos E.I.R.L., 2007. 310 pp.

ISBN: 978-9972-38-041-9

Hernandez, Roberto, Fernandez, Carlos y Baptista, María. Metodología de la investigación: 5º Ed. México: 2010, 656 pp.

Cordero. La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. San José. Costa Rica, 2009, 159pp.

Alvarado, Eva y Pineda, Elia. Metodología de la investigación: Manual para el desarrollo de personal de salud. Informe (ingeniero civil) s.l.: OPS Washington, DC, 1994, p.84.

# **ANEXOS**

## 2.10 CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Estudio de Evapotranspiración del Cultivo Para el Diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, lima 2019

| NOMBRE: WILFREDO RICRA UMERES                         |  |           |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|---|--|-----------|---|---|---|---------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|-------|---|---|---|------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|
| CARRERA: INGENIERIA CIVIL                             |  |           |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
| PERIODO: 06 DE SETIEMBRE 20118 HASTA 31 DE JULIO 2019 |  |           |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
| actividades   | Mes  | Setiembre |   |   |   | Octubre |   |   |   | Noviembre |   |   |   | Diciembre |   |   |   | Abril |   |   |   | Mayo |   |   |   | Junio |   |   |   | Julio |   |   |   |
|   | Semana   | 1         | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1         | 2 | 3 | 4 | 1         | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 |
| PI  | 1. Reunion de coordinacion   | ■         |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 2. Presentacion del esquema  | ■         |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 3. Presentacion del esquema  | ■         | ■ |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 4. Pautas para búsqueda de información   | ■         | ■ |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 5. Propuesta del problema de investigación   |           | ■ |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 6. Justificación, Hipótesis y objetivos de la investigación  |           |   | ■ |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 7. Diseño, tipo y nivel de investigación   |           |   |   | ■ |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 8. Variables y operacionalización  |           |   |   |   | ■       |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 9. Presentación del modelo metodológico  |           |   |   |   |         | ■ |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 10. Presentación del primer avance   |           |   |   |   |         |   | ■ |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 11. Población y muestra  |           |   |   |   |         |   |   | ■ | ■         |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 12. Técnicas e instrumentos de obtención de datos, métodos de análisis y aspectos administrativos. |           |   |   |   |         |   |   |   |           | ■ | ■ |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 13. Presentacion el proyecto para su revision  |           |   |   |   |         |   |   |   |           |   | ■ |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 14. Presentacion del proyecto de investigacion corregido   |           |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   | ■ |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 15. Sustentacion del proyecto de investigacion   |           |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   | ■         |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
| DPI   | 16. Recopilacion de datos del Proyecto   |           |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 17. Visita de campo del proyecto   |           |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 18. Estudio de teorias relacionadas al tema (Evapotranspiracion)                                   |           |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 19. Estudio de teorias relacionadas al tema (Estabilidad de taludes)                               |           |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 20. Redaccion del capitulo uno   |           |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 21. Estudio del requerimiento hidrico del cultivo  |           |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 22. Redaccion del capitulo dos y tres  |           |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 23. Ultima visita a campo y ensayo de materiales (suelos)  |           |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 24. Dimensionamiento del reservorio  |           |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 25. Analisis de estabilidad de talud del reservorio  |           |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 26. Redaccion de conclusiones y recomendaciones  |           |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |
|   | 27. Sustentacion del proyecto de investigacion   |           |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |           |   |   |   |       |   |   |   |      |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |

Tabla 3.2: cronograma de ejecución

## ANEXO N°1 CUADRO DE OPERALIZACIÓN DE VARIABLES

Título: Estudio de evapotranspiración del cultivo para el diseño de un reservorio en distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019.

| VARIABLES                      | DEFINICIÓN CONCEPTUAL   | DEFENICIÓN OPERACIONAL   | DIMENSIONES                       | INDICADORES   | INSTRUMENTOS  | METODOLOGÍA   |
|--------------------------------|---|--|-----------------------------------|---|---|---|
| Evapotranspiración del Cultivo | FAO N ° 56 (2006, P.22) :<br>“Se conoce como evapotranspiración (ET) a la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo [...]”. | La evapotranspiración del cultivo es la unión de dos procesos físicos y que está determinada por aspectos Hidrológicos como la precipitación, temperatura, viento y humedad, siendo estos previamente recopilados y procesados   | Hidrología                        | Precipitación<br>Temperatura del medio<br>Velocidad del viento<br>Humedad del medio | Recopilación de datos meteorológicos.<br>Procesamiento de datos meteorológicos.   | <b>Método:</b><br>Científico<br><b>Enfoque:</b><br>Cuantitativo<br><b>Tipo:</b><br>Aplicada |
|                                |   |  | Requerimiento hídrico del cultivo | Método Penman-Monteith<br>Cropwat   | Programa FAO -<br>Cropwat   |   |
|                                |   |  | Balance hídrico                   | Método comparativo  | Programa BaHiCu 1.02  |   |
| Diseño de un reservorio        | Suarez (2012, p.11), afirma: “La Ingeniería geotécnica es el arte de analizar, diseñar y construir obras civiles con materiales térreos, tiene dos ramas principales: Ingeniería de fundaciones e Ingeniería de trabajos de movimiento de tierras” (p.11).    | El diseño de un reservorio será mediante el conocimiento del volumen requerido, las características del suelo y consideraciones geotécnicas, siendo necesario el conocimiento de propiedades mecánicas del suelo para determinar el factor de seguridad a través de los métodos de equilibrio limite | Propiedades mecánicas del suelo   | Peso específico del suelo<br>Cohesión del suelo<br>Angulo de fricción interna       | Ensayos de laboratorio:<br>Ensayo para determinar el peso específico.<br>Ensayo de granulometría<br>Ensayo de corte directo | <b>Nivel:</b><br>Explicativo<br><b>Diseño:</b><br>Analítica -<br>Experimental               |
|                                |   |  | Estabilidad de taludes            | Factor de seguridad<br><br>Métodos numéricos<br>Método de equilibrio limite         | Método ordinario de Fellenius.<br>Método simplificado de Bishop<br>Método simplificado de Jambu<br>Método de Spencer        |   |

## ANEXO N°2 MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Estudio de evapotranspiración del cultivo para el diseño de un reservorio en distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019.

| PROBLEMAS  | OBJETIVOS  | HIPÓTESIS   | VARIABLES                      | DIMENSIONES                       | INDICADORES   | ESCALA/ ÍTEMS |
|--|--|---|--------------------------------|-----------------------------------|---|---------------|
| <u>Problema General</u>  | <u>Objetivo General</u>  | <u>Hipótesis General</u>  | <u>Variable independiente</u>  |                                   |   |               |
| ¿Qué relación tiene el estudio de la evapotranspiración del cultivo para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019?          | Determinar la relación que tiene el estudio de la evapotranspiración del cultivo para el diseño de un reservorio en el distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019        | Mediante el estudio de Evapotranspiración (ET) del cultivo es posible el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019           | Evapotranspiración del Cultivo | Hidrología                        | Precipitación<br>Temperatura del medio<br>Velocidad del viento<br>Humedad del medio | Ordinal       |
|  |  |   |                                | Requerimiento hídrico del cultivo | Método Penman-Monteith<br>Cropwat   |               |
|  |  |   |                                | Balance hídrico                   | Método comparativo  |               |
| <u>Problemas Específicos</u>   | <u>Objetivos Específicos</u>   | <u>Hipótesis Específicas</u>  | <u>Variable dependiente</u>    |                                   |   |               |
| ¿Cómo influye la hidrología en la determinación de parámetros climatológicos para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019? | Evaluar la influencia de la hidrología en la determinación de parámetros climatológicos para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019 | La hidrología influye en la determinación de los parámetros climatológicos para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019 | Diseño de un reservorio        | Propiedades mecánicas del suelo   | Peso específico del suelo<br>Cohesión del suelo<br>Angulo de fricción interna       | Ordinal       |
| ¿Cómo influye el requerimiento hídrico del cultivo para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019?                           | Evaluar la influencia del requerimiento hídrico del cultivo para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019                             | El requerimiento hídrico del cultivo influye en el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019                                 |                                |                                   |   |               |
| ¿De qué manera influye el balance hídrico para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019?                                    | Evaluar la influencia del balance hídrico para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019   | El balance hídrico tiene influencia en determinar el volumen necesario para el diseño de un reservorio en el Distrito de Santiago de Tuna, Huarochirí, Lima, 2019     |                                | Estabilidad de taludes            | Factor de seguridad   |               |
|  |  |   |                                |                                   | Métodos numéricos<br>Método de equilibrio limite                                    |               |