



Universidad Nacional Agraria
Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente

Trabajo de Graduación

**Por un Desarrollo
Agrario Integral
y Sostenible**

Caracterización de la oferta, demanda y calidad del agua subterránea para riego en El Plantel

Autor

Br. Karen Lissethe Morales Hernández

Asesores

MSc. Raquel Dolores Izabá Ruiz

Ing. Yader Mayquel Barrera Rivera

Managua, Nicaragua

Septiembre 2021



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente

Trabajo de Graduación

**Caracterización de la oferta, demanda y calidad del
agua subterránea para riego en El Plantel**

Autor

Br. Karen Lissethe Morales Hernández

Asesores

MSc. Raquel Dolores Izabá Ruiz

Ing. Yader Mayquel Barrera Rivera

Managua, Nicaragua

Septiembre 2021

Este trabajo de graduación fue evaluado por el honorable comité evaluador designado por la decanatura de la facultad y/o director de sede _____ como requisito parcial para optar al título de profesional el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Miembros del Honorable Comité evaluador

MSc. Reynaldo Mendoza

Presidente

Ing. Mariann Espinoza

Secretaria

Ing. Miguel Ríos

Vocal

Lugar y fecha (día/mes/año) _____

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. Antecedentes	4
3.2. Oferta hídrica	4
3.3. Balance hídrico de suelos (BHS).....	4
3.3.1. Componentes del balance hídrico de suelos	5
3.4. Demanda de agua subterránea	9
3.4.1. Demanda de agua para uso agrícola	9
3.5. Calidad de agua para riego.....	10
3.5.1. Calidad de agua para riego por Norma Riverside.....	10
3.5.2. Calidad de agua para riego por FAO	10
IV. METODOLOGÍA	12
4.1. Ubicación del área de estudio	12
4.2. Condiciones climáticas	13
4.3. Características geomorfológicas	13
4.3.1. Suelo	13
4.3.2. Geología	13
4.3.3. Geomorfología.....	14
4.3.4. Uso actual	14
4.4. Características hidrogeológicas	14
4.4.1. Hidrogeología	14
4.5. Uso del recurso hídrico	15

4.6.	Diseño metodológico	15
4.6.1.	Revisión de información secundaria	15
4.6.2.	Estimación de la oferta	15
4.6.3.	Determinación de la demanda	20
4.6.4.	Determinación de la calidad de agua para riego.....	21
4.7.	Materiales y equipos	24
V.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	25
5.1.	Oferta del agua subterránea en El Plantel	25
5.1.1.	Precipitación y temperatura	25
5.1.2.	Características del suelo	25
5.1.3.	Pendiente	30
5.1.4.	Uso del suelo	31
5.1.5.	Velocidad de infiltración	34
5.1.6.	Recarga Potencial (Rp).....	35
5.2.	Demanda del agua para riego en El Plantel	38
5.3.	Calidad del agua para riego	40
5.3.1.	Calidad del agua para riego por Riverside	41
5.3.2.	Calidad del agua para riego por FAO.....	43
VI.	CONCLUSIONES.....	46
VII.	RECOMENDACIONES.....	47
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	48
IX.	ANEXOS	52

DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis es dedicado a mi familia, en especial a mis padres Lissethe Morales y Gabriel Ríos; a mis Abuelos Josefa Hernández y Eligio Morales, quienes han sido los pilares fundamentales de mi vida, que con su amor y apoyo incondicional logre salir adelante en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A mis amigos, quienes con sus consejos y apoyo brindado me motivaron a dar lo mejor de mí en cada momento.

A mis asesores, MSc. Raquel Izabá e Ing. Yader Barrera, por su dedicación y apoyo en esta última etapa de culminación en mi formación profesional.

A Doña Gertrudis Valverde y familia, por su cariño y apoyo recibido.

A todos los docentes de mi alma mater, por sus enseñanzas y sabiduría transmitida durante mi formación académica.

A todos los trabajadores de El plantel, en especial al profesor Jorge Peña, cariñosamente conocido como “El chino”, por su apoyo recibido durante las etapas de campo realizadas.

Y por último a la Dirección de Investigación y Extensión de posgrado (UNA-DIEP) por el financiamiento de esta investigación, a través del proyecto: Monitoreo de niveles piezométrico para la optimización del uso del agua subterránea en El Plantel.

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1. Factor por pendiente (K_p).....	18
Cuadro 2. Factor por cobertura vegetal (K_v).....	18
Cuadro 3. Valores para la interpretación para la calidad del agua de riego por Normas Riverside	22
Cuadro 4. Descripción del perfil N° 1.....	27
Cuadro 5. Descripción del perfil N° 2.....	28
Cuadro 6. Texturas predominantes en los perfiles #1 y #2 en El Plantel	29
Cuadro 7. Propiedades hidrofísicas del suelo relacionadas con la retención de humedad en El Plantel	29
Cuadro 8. Valores de densidad aparente según la textura predominante en El Plantel.....	30
Cuadro 9. Área comprendida por cada uso identificado y porcentaje respecto al área total en El Plantel	33
Cuadro 10. Velocidad media de infiltración por cada uso de suelo identificado en El Plantel.....	34
Cuadro 11. Recarga potencial por cada uso identificado en El Plantel	36
Cuadro 12. Demanda anual para riego por cultivo establecido en El Plantel	38
Cuadro 13. Resultados del análisis de agua de los pozos #1, #2 y #4 en El Plantel	40
Cuadro 14. Valor del RAS obtenido para el agua de los pozos #1, #3 y #4 en El Plantel	42
Cuadro 15. Interpretación de la calidad de agua para riego para los pozos #1, #3 y #4 en El Plantel, según directrices de FAO (1985).....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Ubicación de El Plantel.....	12
Figura 2 Diagrama para clasificar las aguas de riego según el U.S Salinity Laboratory Staff (1954)	22
Figura 3. Precipitación y temperaturas anuales de El Plantel período 2008-2020	25
Figura 4. Pendientes predominantes en El Plantel	31
Figura 5. Uso de suelos establecidos en El Plantel.....	32
Figura 6. Clasificación del agua de los pozos #1 (azul), #3 (rojo) y #4 (amarillo) en El Plantel, según normas Riverside.....	43

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
Anexo 1. Formato para la clasificación de suelos en campo.....	52
Anexo 2. Hoja de cálculo de infiltración.....	52
Anexo 3. Radiación solar extraterrestre en mm/día	53
Anexo 4. Hoja de cálculo BHS en pastos con suelos de textura arcilloso	54
Anexo 5. Hoja de cálculo BHS en pastos con suelo de textura franco arcillosa	55
Anexo 6. Hoja de cálculo BHS en cultivos anuales con suelos de textura arcillosa.....	56
Anexo 7. Hoja de cálculo BHS en cultivos permanentes con suelos de textura arcillosa.....	57
Anexo 8. Hoja de cálculo BHS en bosque latifoliado ralo en suelos de textura arcillosa.....	58
Anexo 9. Hoja de cálculo BHS en plantación de eucalipto con suelo de textura arcillosa	59
Anexo 10. Volumen de agua extraído para riego por tipo de sistema y diferentes cultivos establecidos.....	60
Anexo 11 Normas para la interpretación de calidad de agua para riego	61
Anexo 12. Determinaciones de laboratorio necesarias para evaluar problemas comunes en la calidad de agua para riego	62

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la Unidad de Experimentación y Validación de Tecnologías El Plantel, perteneciente a la Universidad Nacional Agraria (UNA), ubicada en el kilómetro 30 carretera Tipitapa-Masaya, municipio de Masaya en suelos *Udic Haplustolls* y *Lithic Ustorthents*. Con el objetivo de documentar la oferta, demanda y calidad del agua subterránea para riego, fue necesario analizar una serie de datos climatológicos de 12 años, pruebas de infiltración de agua en el suelo, descripción de perfiles de suelo, así como la extracción de muestras de aguas de los pozos. Para determinar la oferta se utilizó el Balance Hídrico de Suelos (BHS), propuesto por Schosinsky, 2006. El cálculo de la demanda de agua extraída para riego permitió conocer los volúmenes requeridos de cada área cultivada. El análisis de las muestras de agua, permitió conocer la calidad de estas para riego. Los resultados del BHS indicaron que existen condiciones hidrofísicas que permiten garantizar la oferta de agua como aporte al almacenamiento de agua subterránea en el área de estudio. La demanda no excede al aporte de la oferta, cubriendo las necesidades de riego en las áreas cultivadas. Finalmente, la calidad del agua subterránea es apta para riego; cumpliendo con los rangos establecidos por las Normas Riverside y FAO.

Palabras Claves: condiciones hidrofísicas, Recarga Potencial, oferta, calidad de agua para riego, demanda de agua para riego.

ABSTRACT

This research was developed in the Unit of Experimentation and Validation of Technologies El Plantel, belonging to the National Agrarian University (UNA), located at kilometer 30 Tipitapa-Masaya road, municipality of Masaya in *Udic Haplustolls* and *Lithic Ustorthents* soils. With the aim of documenting the supply, demand and quality of groundwater for irrigation, it was necessary to analyze a series of 12-year climatological data, test of water infiltration into the soil, description of soil profiles, as well as the extraction of water samples from wells. To determine the supply, the Soil Water Balance (BHS), proposed by Schosinsky, 2006, was used. The calculation of the demand for water extracted for irrigation allowed to know the required volumes of each cultivated area. The analysis of the water samples allowed to know the quality of these for irrigation. The results of the BHS indicated that there are hydrophysical conditions that allow to guarantee the supply of water as a contribution to the storage of groundwater in the study area. The demand does not exceed the contribution of the supply, covering the irrigation needs in the cultivated areas. Finally, the quality of the groundwater is suitable for irrigation; complying with the ranks established by the Riverside and FAO Standards.

Keywords: hydrophysical conditions, potential recharge, supply, water quality for irrigation, water demand for irrigation.

I. INTRODUCCIÓN

En Nicaragua las estrategias de extracción del recurso hídrico han priorizado el uso de agua subterránea, en el año 2011 la extracción hídrica nacional alcanzó los 1.545 km³, destacando el sector agrícola con una extracción de 1.185 km³, equivalente al 76% del total de las extracciones, de los cuales 1.110 km³ correspondieron a riego [Global Partnership Central América, GWP, (2017)]. El agua que consume la agricultura proviene principalmente de fuentes subterráneas. Los principales acuíferos están ubicados en la Región del Pacífico del país debido a que la formación geológica favorece la presencia de las mismas [InterAmerican Network of Academies of Sciences, IANAS, (2012)].

El desarrollo de las actividades agrícolas en el país está ligada a la disponibilidad del agua. Los suelos más fértiles se localizan en las vertientes del Pacífico donde existe la mayor disponibilidad de agua subterránea. La agricultura bajo riego en el territorio nacional inició en la década de los años 50 (IANAS, 2012).

El nivel de la calidad de agua dentro de los recursos hídricos posee gran valor social, económico y ambiental; sobre todo el potencial y futuro desarrollo de un país. Cuando se presentan ciertos procesos que interfieren con el uso del agua y que pueden degradar dicho recurso, es necesario el análisis del estado del mismo e indagar posibles soluciones que faciliten la gestión del agua en una cuenca hidrográfica, de modo que puedan aportar o limitar los impactos que afecten la calidad del agua (IANAS, 2019).

Durante las últimas décadas, el gran desarrollo de las actividades agrícolas, ha inducido en cierto grado la degradación sobre los recursos hídricos. Factores como la sobreexplotación de las extracciones de agua subterránea debido a las inexistentes regulaciones, uso excesivo de productos agroquímicos, el acelerado avance de la deforestación y fenómenos climáticos tales como sequías más prolongadas y cambios en la distribución de las lluvias, producen un gran impacto en cuanto a disponibilidad y futuro de dicho recurso para cualquier actividad (GWP, 2017; IANAS, 2019).

En el año 2012 la Unidad de Experimentación y Validación de Tecnologías El Plantel, perteneciente a la Universidad Nacional Agraria (UNA), realizó la perforación de un pozo para extracción de agua para riego, destinándose a un área de 54 manzanas, de las cuales 22 manzanas son productivas, cultivándose principalmente maíz, sorgo, musáceas, frutales como mangos, cocoteros, guayabas, aguates, entre otros, (Murillo et al., 2019).

Durante el mismo año se realizaron pruebas en cuanto al funcionamiento del pozo y estudios de suelos (Cruz y Alvarado, 2016). Desde su funcionamiento a la actualidad no se cuenta con datos de la demanda de agua a suplir para las distintas áreas bajo riego; así como de la recarga y productividad del pozo. Cabe destacar que El Plantel se encuentra ubicada dentro del corredor seco de la región, lo que representa un peligro latente para la preservación del recurso hídrico y la productividad de dicho sitio.

Actualmente no se ha encontrado estudios previos donde se estime la oferta de agua subterránea y la calidad del agua de este pozo, así como estudios en donde se reflejen un plan de manejo y conservación para el aumento de la recarga potencial como oferta de agua al almacenamiento del acuífero.

El presente estudio se realizó en El Plantel, con el objetivo de caracterizar oferta, demanda y calidad del agua para riego del pozo #1, destinado para aplicación de riego en el área de estudio. Se realizaron identificación de las propiedades hidrofísicas del suelo a través del análisis de dos perfiles de suelo; pruebas de infiltración por tipo de uso de suelo para determinar la recarga potencial utilizando el Método del Balance Hídrico de Suelo propuesto por Schosinsky (2006). Además, para determinar la demanda de uso del agua para riego se realizó una entrevista que permitió obtener información de los cultivos, áreas bajo riego, tipo de sistemas implementados, frecuencia, tiempo y caudal de riego; así como muestras de agua para análisis y evaluar la calidad para uso de riego.

Los resultados obtenidos en este estudio son un aporte para un aprovechamiento adecuado del agua subterránea, que permitirán a los responsables del centro de práctica diseñar e implementar un plan para la optimización del uso del agua para riego en El Plantel.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Caracterizar la oferta, demanda y calidad del agua subterránea para riego en El Plantel.

2.2. Objetivos específicos

- Estimar la oferta del agua subterránea utilizando el método del balance hídrico del suelo (BHS) propuesto por Schosinsky.
- Determinar la demanda del agua subterránea utilizada en la aplicación de sistemas de riego por áreas de cultivos establecidos.
- Valorar la calidad del agua para riego aplicando la Normas Riverside y parámetros de calidad de agua para la agricultura establecidos por la FAO.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Antecedentes

En el año 2018 se realizó el estudio de estimación de la disponibilidad hídrica superficial en la microcuenca del río Mapachá, San Lorenzo, Boaco. En este estudio se estimó la disponibilidad hídrica en la microcuenca, por medio de un reconocimiento hidrológico y geológico de la misma. Mediante los resultados de pruebas de infiltración y datos climatológicos (precipitación y temperatura) de un periodo comprendido entre 1995-2011 permitieron la realización del balance hídrico de suelos (BHS) propuesto por Schosinsky (2006), a partir de este resultado se estimó la recarga potencial del acuífero (Izabá y García, 2018).

No se encontró estudios previos sobre la oferta, demanda y disponibilidad de agua subterránea en El Plantel, ni en zonas aledañas.

3.2. Oferta hídrica

Es el volumen de agua que se obtiene a través de las precipitaciones y se encuentra disponible para las diferentes actividades económicas. Para calcular de forma precisa la disponibilidad hídrica y sus variaciones espacio temporales es esencial conocer el suministro de alimentos, la producción energética, y la salud humana (Lozano, 2018). La variación de la disponibilidad hídrica en un área se relaciona con el ciclo hidrológico; este, en su tramo continental, está generalmente referido a una cuenca hidrográfica y está considerado como un sistema abierto (Casado, 2007).

3.3. Balance hídrico de suelos (BHS)

Para determinar la oferta hídrica se puede utilizar el balance hídrico de suelo que nos permite estimar un determinado volumen de agua que infiltra y recargar al acuífero luego de diversos factores que ocurren durante el proceso de llegada al mismo (Schosinsky, 2006).

El estudio de balance de suelos se basa en el principio de conservación de la materia. El agua que entra a un suelo, es igual al agua que se almacena en el mismo, más el agua que sale de él. Las entradas son debidas a la infiltración del agua hacia el suelo, y las salidas se deben a la evapotranspiración de las plantas, más las descargas de los acuíferos (Schosinsky, 2006).

El potencial de las aguas subterráneas se estima determinando la recarga potencial al mismo, que se calcula conociendo la infiltración de lluvia que penetra al suelo, la cobertura vegetal del suelo, la profundidad de las raíces extractoras del agua, la Capacidad de Campo, el Punto de Marchitez Permanente, la Evapotranspiración Potencial y Real, Humedad del Suelo al inicio y Humedad del Suelo al final del análisis (Schosinsky, 2000).

3.3.1. Componentes del balance hídrico de suelos

Suelo

Para realizar el balance hídrico se estudian las propiedades hidrofísicas del suelo, con el propósito de conocer el comportamiento el agua en el perfil, dichas propiedades son utilizadas para estimar el valor de las mismas basadas en las condiciones presentes del suelo mediante coeficientes y condicionantes propuestos por el modelo. Las propiedades estudiadas son las siguientes:

Textura

La textura en un suelo se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla que este contiene. Estos en base a su textura pueden clasificarse como suelos arenosos, limosos, o arcillosos, esto dependerá según la predominancia de cualquiera de sus componentes. Un suelo será de textura franca cuando contenga una mezcla entre arena, limo y arcilla en proporciones equilibradas [Food and Agriculture Organization, FAO, (2009)].

Capacidad de Campo (CC)

Cuando el suelo ya no pierde más agua por gravedad se dice que está a la Capacidad de Campo. En esta situación el agua ocupa los poros pequeños y el aire ocupa una gran parte del espacio de los poros grandes. Se admite que el estado de CC se alcanza en suelos bien drenados a los dos o tres días después de una abundante lluvia, aunque esto no aplica para todos los suelos, ya que en suelos arcillosos se alcanza con más lentitud que en suelos arenosos (Fuentes y García, 1999).

Punto de Marchitez Permanente (PMP)

A partir de la Capacidad de Campo, el agua del suelo se va perdiendo progresivamente por evaporación y al ser absorbida por las plantas. Llega un determinado momento en donde las plantas ya no pueden seguir absorbiendo el agua que necesitan y se marchitan irreversiblemente. Se dice entonces que el suelo ha alcanzado el PMP. Este estado marca el límite inferior de aprovechamiento del agua en el suelo por las plantas.

Al igual que la CC, el PMP depende más de la textura que la estructura del suelo (Fuentes y García, 1999).

Profundidad de raíces (PR)

La profundidad de las raíces está determinada por una serie de factores como: características genéticas de la especie, características del suelo, el nivel de agua en el suelo, nutrientes, oxígeno, etc. La profundidad total de un sistema radical es característica de cada especie, pero puede variar debido a factores como el nivel de humedad en el suelo, la proximidad a la capa freática, la existencia de horizontes calizos u otras capas duras e impermeables (Fuentes y García, 1999).

Capacidad de infiltración del suelo (F_c)

Es la fracción de agua proveniente de las precipitaciones que puede infiltrar hacia el suelo y que será utilizada por las raíces de las plantas o para recargar al acuífero (Schosinsky y Losilla, 2000).

Coefficiente de infiltración (C)

Después de ocurrida una precipitación, parte del agua de lluvia se escurre a través de escorrentías, en forma de charcos y que con el transcurso del tiempo termina evaporándose o infiltrando. A la fracción de lluvia que logra infiltrar en el suelo se le denomina coeficiente de infiltración; la única fracción de lluvia con potencial a infiltrar es la que queda en la superficie del suelo (Schosinsky y Losilla, 2000).

Precipitación que infiltra (P_i)

Se define como la fracción de lluvia que infiltra mensualmente hacia el suelo, considerando los factores de precipitación mensual, retención pluvial mensual por parte del follaje, y el coeficiente de infiltración (Schosinsky, 2006).

Evapotranspiración (ET)

La evapotranspiración (ET) es el proceso por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso y directamente o a través de las plantas vuelve a la atmósfera en forma de vapor. La cantidad de agua perdida por evapotranspiración dependerá de la disponibilidad de agua en el suelo y de la capacidad que posean las plantas para absorber y transpirar esa agua contenida en el suelo (Fuentes y García, 1999).

Evapotranspiración potencial (ETP)

Es la cantidad de agua consumida, durante un periodo determinado de tiempo, en un suelo cubierto de una vegetación homogénea, densa, en plena actividad vegetativa y con un buen suministro de agua (Fuentes y García, 1999).

Evapotranspiración real (ETR)

Se entiende por evapotranspiración real a la suma de cantidades de vapor de agua evaporadas de la superficie de agua y de suelo húmedo más aquella transpirada por las plantas y la usada para su crecimiento con el suelo en las condiciones actuales de humedad [United Nations, ONU, (1972)]. La ETR es afectada por factores como la especie vegetal que cubre un terreno, la fase en vegetativa en la que está se encuentra, la estructura mecánica, la naturaleza y química del suelo, y la cantidad de agua disponible tanto en el suelo como en el subsuelo (Werner, 1996).

Coefficientes de humedad

Es la humedad existente en el suelo considerando la infiltración de lluvia y evapotranspiración en un mes dado (Schosinsky, 2006).

Humedad del suelo inicial y final

Schosinsky (2006) sugiere que “al iniciar un mes cualquiera, el suelo tendrá una humedad inicial (HSi). Si no existiese evapotranspiración, la precipitación que infiltra vendría a aumentar la humedad del suelo, permitiendo una mayor evapotranspiración”.

La humedad del suelo final (HSf), es la humedad disponible en el suelo una vez ocurrido el proceso de evapotranspiración y que estará disponible para el almacenamiento del acuífero (Schosinsky, 2006).

Recarga al acuífero

Se puede definir como la entrada del agua dentro de la zona saturada donde empieza a formar parte de las reservas subterráneas, esta puede darse de dos maneras, por un movimiento descendiente del agua producto a la gravedad, y luego de presentarse un movimiento horizontal del flujo debido a las diferentes condiciones hidráulicas de las capas que constituyen el perfil del suelo (Balek, 1988).

Es muy importante estimar la recarga de un acuífero, ya que nos permitirá determinar la cantidad de agua que llega a ellos, su calidad, procedencia y la zona en donde se origina la recarga o descarga del flujo de agua subterráneo (Isaar y Passchier, 1990).

Recarga potencial

El potencial de las aguas subterráneas se determina conociendo en primer lugar, la fracción de lluvia que es interceptada por el follaje. En segundo lugar, se requiere conocer la infiltración del agua de lluvia hacia el suelo, proveniente de las precipitaciones y en tercer lugar se debe realizar un BHS que nos permitirá estimar el agua que drena hacia el acuífero (Schosinsky, 2006).

3.4. Demanda de agua subterránea

La demanda hídrica se puede obtener a partir de los volúmenes de producción sectorial y de factores de consumo de agua por tipo de producto o servicio (Díaz y Alarcón, 2018).

3.4.1. Demanda de agua para uso agrícola

Se entiende por demanda, la cantidad de agua requerida para el desarrollo de dicha actividad expresada en unidades de volumen, para calcular la demanda de agua se considera el área destinada a riego y el consumo de agua según el sistema de riego al que se encuentre sometido dicho cultivo (Cotrina y Tania, 2016).

3.5. Calidad de agua para riego

La calidad de agua para riego indica la conveniencia o limitación en el empleo del agua, con fines de riego de cultivo agrícola, para cuya determinación generalmente se toman como base ciertas características químicas (Palacios y Aceves, 1970).

Se han establecido diversos criterios de clasificación del agua en función de su aptitud para utilizarse en riego. Estos criterios se basan en su composición química, consideran también de cierta manera, ciertos factores como el suelo, cultivo, cantidad de agua aplicada, etc. (Fuentes y García, 1999).

3.5.1. Calidad de agua para riego por Norma Riverside

La norma Riverside refleja las condiciones de salinidad y Relación de Adsorción de Sodio (RAS) clasificando las aguas en multitud de rangos. Se establecen categorías de clases de aguas enunciadas según las letras C en base a la Conductividad Eléctrica y S en base al valor relación de adsorción de Sodio RAS (Tartabull y Bentancourt, 2016).

3.5.2. Calidad de agua para riego por FAO

Las normas de calidad de agua para la agricultura establecidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO) evalúan la calidad de agua para riego bajo los siguientes parámetros: salinidad, toxicidad y efectos diversos. Dicha norma establece directrices y rangos permisibles para la interpretación de la calidad del agua para riego. (FAO, 1985).

Las directrices para las interpretaciones de la calidad de agua para riego según FAO se mencionarán continuación:

Salinidad

Afecta la disponibilidad del cultivo, existirá un problema de salinidad si la sal se acumula en la zona de las raíces de los cultivos hasta llegar a concentraciones que provoquen una pérdida de rendimiento. Las reducciones en el rendimiento se producen cuando estas sales se acumulan en dicha zona hasta un punto en el que los cultivos ya no pueden seguir extrayendo suficiente agua de la solución salada del suelo, lo que provoca un estrés hídrico durante un periodo de tiempo significativo (FAO, 1985).

Los problemas potenciales en cuanto a salinidad que evalúa esta norma son la conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos (FAO, 1985).

Toxicidad

Los problemas de toxicidad ocurren cuando la planta llega a absorber ciertos iones presentes en el suelo o el agua y se acumulan en concentraciones altas que pueden dañar y reducir los rendimientos en el cultivo. Los problemas potenciales en cuanto a toxicidad que se evalúan son el Sodio, Cloruros, Boro y Oligoelementos (FAO, 1985). Para este estudio se utilizaron únicamente los indicadores Sodio y Cloruros.

Efectos diversos

Estos incluyen altas concentraciones de nitrógeno en el agua que al ser adsorbido por el cultivo causa un crecimiento vegetativo excesivo, acame y retraso en la madurez del mismo; depósitos antiestéticos en frutos u hojas debido al riego por aspersión, con alto contenido de bicarbonatos y diversas anomalías asociadas a menudo con un pH inusual del agua (FAO, 1985).

Los problemas potenciales en cuanto a efectos varios que evalúa son Nitrógeno ($\text{NO}_3 - \text{N}$), Bicarbonato (HCO_3) y pH. En este estudio se utilizó el indicador pH y Bicarbonatos (FAO, 1985).

IV. METODOLOGÍA

4.1. Ubicación del área de estudio

La unidad de experimentación y validación de tecnologías, conocida como El Plantel, cuenta con una extensión total de 171.8 Has, equivalentes a 1.71 km². Se localiza en el kilómetro 30 carretera Tipitapa-Masaya, en el municipio de Masaya, departamento de Masaya en las coordenadas UTM, X: 598941 y Y: 1336762. Limita al Norte con la comunidad de Zambrano, al Sur con la comunidad de Guanacastillo, al Este con la comunidad de Zambrano y al Oeste con la comunidad de Cofradía [Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, INETER (2012)].

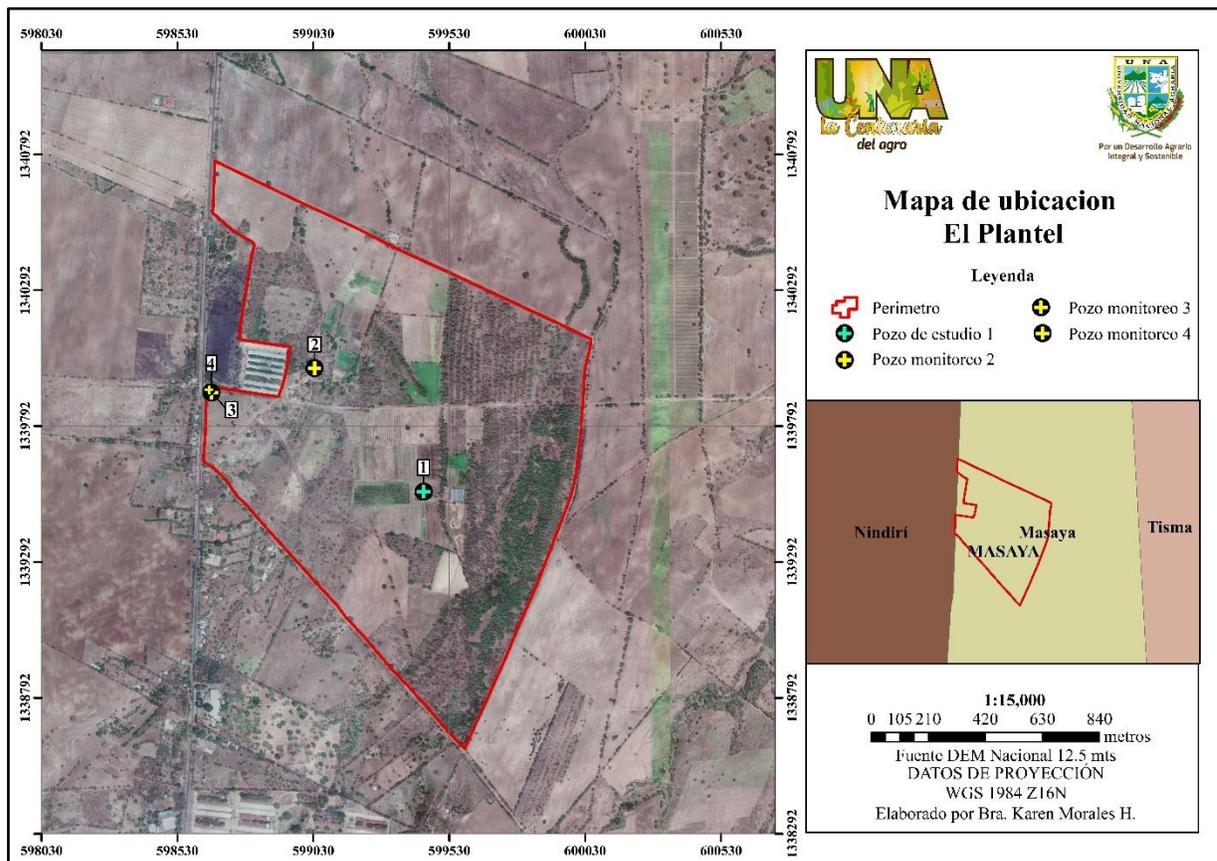


Figura 1. Ubicación de El Plantel

4.2. Condiciones climáticas

Según la clasificación climática de Nicaragua de Köppen, el área de estudio se clasifica como clima caliente y sub húmedo con lluvia en verano. El Plantel se encuentra dentro de la región del Pacífico del país, es influenciada por el establecimiento del verano entre los meses de noviembre a abril. El período lluvioso se establece a partir del mes de mayo a octubre, siendo los meses de septiembre y octubre donde las precipitaciones aumentan, y posteriormente finalizando el período lluvioso en el mes de noviembre, (Krásný & Hecht 1998).

Según INETER (2012), el registro de precipitación media anual es de 1026.8 mm, con valores mensuales de temperaturas medias de 27.6 °C.

4.3. Características geomorfológicas

4.3.1. Suelo

Taxonómicamente estos suelos son clasificados como *Udic Haplustolls* y *Lithic Ustorthents* Zelaya (1990). Pertenecen a la serie Zambrano, la cual consiste de suelos profundos a moderadamente superficiales, bien drenados, con un subsuelo arcilloso de color pardo rojizo oscuro. Los suelos se han desarrollado sobre ceniza volcánica que descansa sobre arcilla, toba parcialmente meteorizada o arena y escoria cementada. Se encuentran en las planicies ligeramente onduladas a fuertemente onduladas, (CATASTRO, 1971).

4.3.2. Geología

En el área de estudio se encuentran lavas de basalto, piroclastos consolidados y semiconsolidados (tobas), y depósitos aluviales recientes. Los piroclastos del cuaternario y los depósitos aluviales se encuentran sobrepuestos al basalto, así como cenizas finas y medias de erupciones volcánicas recientes que aparecen dentro de los perfiles de suelos con cierto grado de consolidación conocidos como “talpetate” (CATASTRO, 1971).

4.3.3. Geomorfología

La zona en estudio se encuentra en la transición entre dos provincias fisiográficas: la volcánica del Pacífico y la Depresión Nicaragüense; aproximadamente entre las subprovincias de Cordillera de los Maribios y Planicies de Tipitapa (Zelaya, 1990).

La forma específica del terreno es ondulada a suavemente ondulado, característico de las planicies disectadas. Entre los procesos que determinan esta forma del terreno predominan los procesos sedimentarios coluviales y el vulcanismo explosivo como los más importantes (Zelaya, 1990).

4.3.4. Uso actual

En el período de este estudio en El Plantel se encontraron los siguientes cultivos anuales, para mencionar algunos: maíz (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum bicolor*), cucurbitáceas (pipián principalmente). A la vez se encuentra cultivos permanentes tales como: mango (*Mangifera indica*), coco (*Cocos nucifera*), aguacate (*Persea americana*), níspero (*Manilkara zapota*), guayaba (*Psidium guajava*), musáceas, granada (*Punica granatum*), guanábana (*Annona muricata*), entre otros. Así mismo, se encuentran algunas áreas se destinan para pastos mejorados (Tanzania, Mombaza, *Brachiaria Brizantha* cv Marandu, Camello, Piata), y pasto de corte (Kingraf, Maralfalfa, CT-115, CT-169, OM-22).

Es importante mencionar que en El Plantel se encuentran áreas de bosques latifoliado ralo, plantaciones forestales como el eucalipto y potreros.

4.4. Características hidrogeológicas

4.4.1. Hidrogeología

El área de estudio pertenece al acuífero La Sierra, es uno de los acuíferos más productivos del país. Las características hidrogeológicas más predominante de este son: acuífero poroso, alternados con acuitardos del grupo Las Sierras con material principal de los depósitos aluviales y cuaternarios de origen volcánicos (Krasný & Hecht 1998).

4.5. Uso del recurso hídrico

El Plantel cuenta con cuatro pozos, pero solamente uno de ellos (pozo identificado como # 1) es destinado para la irrigación de cultivos (anuales y permanentes) bajo diversos sistemas de riego y abastecimiento de agua para el ganado. Se estima que alrededor de 84 792.01 m³ al año son bombeados para satisfacer las actividades agrícolas, (Murillo et al., 2019).

4.6. Diseño metodológico

4.6.1. Revisión de información secundaria

Se revisó y recopiló información secundaria sobre estudios previos de suelo, geología, agua subterránea y uso del agua en la zona del área de estudio, para determinar la oferta, demanda y valorar la calidad del agua para riego en El plantel.

El procedimiento y metodologías aplicadas para la determinación de la oferta, demanda y calidad del agua en El plantel se describe a continuación:

4.6.2. Estimación de la oferta

Para determinar la oferta de agua en El plantel, se aplicó el balance hídrico del suelo (BHS) propuesto por Schosinsky (2006), donde se utilizan las siguientes características climáticas y de suelo descritas a continuación:

Datos climáticos

Se utilizaron datos climatológicos de la zona, obtenidos de las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio, pertenecientes al Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER) de un período de 12 años. Los datos de temperatura (máximas, medias y mínimas) se obtuvieron de la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino con código: 69127 y los datos de precipitación de la estación meteorológica Guanacastillo con código: 69186. Los datos de temperatura máxima media y mínima permitieron calcular la

Evapotranspiración Potencial (ETP) que es un componente de entrada en el BHS propuesto por Schosinsky (2006).

Cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ETP)

Por medio de los datos de temperatura máxima, media y mínima de un periodo de 16 años (2004-2020) de la estación meteorológica Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino, se estimó el valor de la evapotranspiración potencial (ETP) a través de la fórmula de Hargreaves & Samani (1985). La fórmula se expresa de la siguiente forma:

$$ETo = 0,0135 (tmed + 17,78) Rs$$

Donde:

ETo= evapotranspiración potencial diaria, en mm/día.

Tmed= temperatura media, en °C (grados Celsius).

Rs= radiación solar incidente, convertida en mm/día.

El parámetro de la radiación solar, se estimó utilizando el cuadro presentado en el anexo 3.

Análisis de suelos

Muestreo de suelos a través de descripción de perfiles

El modelo del BHS necesita las propiedades hidrofísicas del suelo que permitieron analizar el movimiento del agua a través de este; para ello, se seleccionaron dos sitios representativos donde se excavaron calicatas. La realización de dos calicatas ubicadas aguas arriba y aguas abajo del pozo principal (#1), tuvieron como finalidad comparar dichas propiedades según las características de suelo encontradas para cada perfil.

Con la ayuda de la guía de suelo de la FAO (2009), se realizó la descripción en campo de las propiedades físicas del suelo, descrita en los resultados, a la vez se colectaron muestras para determinar las propiedades hidrofísicas del suelo que considera el método de BHS, tales como: textura, Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP).

Se recolectaron muestras de los primeros tres horizontes del perfil #1. En el perfil#2, se tomó muestra solamente del primer horizonte para realizar el análisis de las características antes mencionadas.

Las muestras se trasladaron al Laboratorio de Suelos y Agua (LABSA) para su correspondiente análisis. La determinación de la textura en suelos, se realizó a través el Método hidrómetro de Bouyoucos (1962). La CC y PMP se obtuvieron a través del método por ollas de presión de Richards (1930). El parámetro de Densidad Aparente se consideró a partir de la clasificación propuesta por Fuentes y García (1999), (Ver cuadro 8).

Estimación del Balance Hídrico de Suelos (BHS)

Para estimar la recarga potencial o la oferta de agua al acuífero utilizamos un balance hídrico de suelos propuesto por Schosinsky (2006).

Una de las características considerada dentro del BHS, es el coeficiente de infiltración (C) que se determinó con la siguiente ecuación:

$$C = (K_p + K_v + K_{fc})$$

C: coeficiente de infiltración

K_p: fracción que infiltra por efecto de pendiente (adimensional) (ver cuadro 1)

K_v: fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal (adimensional) (ver cuadro 2)

K_{fc}: coeficiente de infiltración en base a la textura del suelo.

Factor por pendiente (K_p)

Para estimación de la fracción de lluvia que infiltra al suelo por efecto de la pendiente. En Schosinsky y Losilla (2000), proponen los siguientes coeficientes por efecto de pendiente:

Cuadro 1. Factor por pendiente (K_p)

Por pendiente	Pendiente	K_p
Muy plana	0.02%-0.06%	0.30
Plana	0.3%-0.4%	0.20
Algo plana	1%-2%	0.15
Promedio	2%-7%	0.10
Fuerte	Mayor de 7%	0.06

Fuente: Schosinsky y Losilla (2000).

Factor por vegetación (K_v)

Es el factor en el cual parte de la precipitación que queda retenida en el follaje de las plantas. Se estima que, en cada aguacero, el follaje intercepta cerca de del 12% de la lluvia anual (Butler, 1957). Linsley et al. (1958), mencionan que la lluvia interceptada en un bosque bien formado varía entre el 10% y 20 %. Schosinsky y Losilla (2000), proponen los siguientes coeficientes por efecto de la cobertura vegetal:

Cuadro 2. Factor por cobertura vegetal (K_v)

Por cobertura vegetal	K_v
Cobertura con zacate menos 50%	0.09
Terrenos cultivados	0.10
Cobertura con pastizal	0.18
Bosques	0.20
Cobertura con zacate más de 75%	0.21

Fuente: Schosinsky & Losilla (2000).

Coefficiente de infiltración del suelo en base a la textura del suelo (K_{fc})

Para estimar el coeficiente de infiltración en base a la textura del suelo se utilizaron los siguientes criterios:

Para valores de f_c igual 6mm/día-1568 mm/día, K_{fc} se calcula con la siguiente expresión:

$$K_{fc} = 0,267 \ln (f_c) - 0,000154f_c - 0,7231$$

Para valores de f_c menores a 16 mm/día, $K_{fc} = 0,0148f_c/16$.

Para valores de f_c mayor a 1568 mm/día, $K_{fc} = 1$.

Donde f_c son los valores de velocidad de infiltración obtenida a través de prueba de campo por el método del anillo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) en 1999, donde se realizaron 48 pruebas de infiltración para determinar la velocidad de infiltración en mm/h distribuidas por uso de suelo; seleccionando los más predominantes que son: bosque latifoliado ralo, plantación de eucalipto, cultivos anuales, cultivos permanentes y pastos.

El método implica el uso de un anillo de acero con 6 pulgadas de diámetro, empotrado a 3 pulgadas de profundidad. Se vierte un volumen de agua de 449 ml (1 pulgada) y se registra el tiempo que tarda en infiltrarse hacia el suelo. En el caso de ser necesario se aplicó una segunda pulgada o tercera pulgada hasta que el suelo se encontrara a CC. Los datos de cada fueron registrados y procesados en una hoja de cálculo propuesto por USDA, (1999), (ver anexo 2). Por medio del programa SPSS se realizó la estadística descriptiva para determinar la velocidad media de infiltración por cada uso de suelo.

Para determinar f_c en mm/día, se consideró un evento de precipitación máxima de dos horas, como la máxima precipitación a desarrollarse en un día en el área de estudio.

A partir del cálculo del coeficiente de infiltración (C), se determina la Precipitación que infiltra (P_i), donde se considera la lluvia interceptada por el follaje (Ret). Para el cálculo de la retención se consideró una pérdida de agua 20% para bosque y 12% para otras coberturas (Schosinsky, 2006). La ecuación para determinar la precipitación que infiltra se presenta a continuación:

$$P_i(\text{mm}) = C * (P - \text{Ret})$$

Donde:

P_i : Infiltración que infiltra mm

C: Coeficiente de Infiltración adimensional

P: precipitación en mm

Ret: Lluvia interceptada por el follaje.

La retención (Ret) se determina a partir de los siguientes criterios:

Si $P \leq 5$ mm/mes ; Ret= P

Si $P * Cfo \geq 5$ mm/mes ; Ret= P*Cfo

Si $P > 5$ mm/mes y $P * Cfo < 5$ mm/mes; Ret = 5 mm/mes

Donde:

Cfo: Coeficiente de retención (Cfo).

A partir de los datos de precipitación, Evapotranspiración Potencial (ETP); características hidrofísicas del suelo: CC, PMP y textura en el análisis de suelos; así como el cálculo de la precipitación que infiltra (Pi), se utilizó la hoja de cálculo del modelo de Balance Hídrico de Suelo (BHS) de Schosinsky, (2006), para determinar la recarga potencial u oferta de agua al acuífero, se calculó con la siguiente ecuación establecida dentro del modelo BHS:

$$R_p = P_i + H_{Si} - H_{Sf} - ETR$$

Donde:

Rp: recarga potencial en mm.

Pi: precipitación que infiltra en mm.

HSi: humedad del suelo inicial en mm.

HSf: humedad del suelo final en mm.

ETR: evapotranspiración potencial en mm.

4.6.3. Determinación de la demanda

Para determinar la demanda se entrevistó al Ing. Jorge Peña, quien proporcionó información sobre: la diversidad de cultivos, total de áreas cultivadas, tipo de sistema de riego por cultivo, tiempo y frecuencia de riego, caudal de aplicación por tipo de sistema de riego.

Una vez obtenida la información se introdujo en una hoja de cálculo de Excel, donde se realizó el cálculo de la extracción mensual de riego, la cual se obtuvo de la siguiente manera; se multiplicaba el caudal del sistema presente (goteros, aspersión, mini aspersión) por el número de goteros o aspersores del sistema establecidos en el área por el tiempo de riego. El resultado

se multiplica por el número de riegos en el mes, al final se suman para obtener la extracción anual o demanda (anexo 10).

4.6.4. Determinación de la calidad de agua para riego

De los 4 pozos existentes en El Plantel, se recolectaron muestras de agua en el pozo principal de estudio pozo #1, y del pozo #3 y pozo #4; del pozo #2 no se tomó muestra debido que el orificio del pozo es muy angosto y no se pudo extraer la muestra. Para valorar la calidad de agua para riego, el análisis de estas se realizó en el Laboratorio de Suelos y Agua LABSA, perteneciente a la Universidad Nacional Agraria.

Las muestras de agua se valoraron utilizando los parámetros de normas de calidad de agua para la agricultura de FAO (1985) y Normas Riverside del U.S Salinity Laboratory Staff (1954).

La Norma Riverside está basada en la combinación de la conductividad eléctrica, en mmhos/cm a 25 grados, y el RAS (Relación Adsorción Sodio). Los valores obtenidos se introdujeron utilizando el gráfico adjunto a la norma (Figura 2), en donde en el eje horizontal, están plasmados rangos de la conductividad eléctrica y en el eje vertical el del RAS, ambos se prolongan hasta cortarse en un punto que estará situado en uno de los recuadros reseñados con las letras C y S, cada una con su subíndice correspondiente.

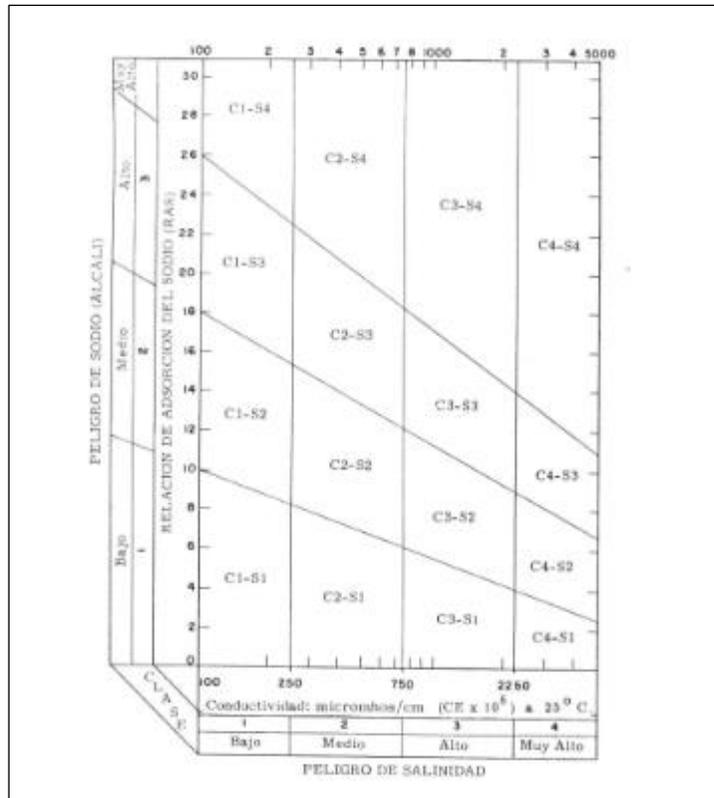


Figura 2 Diagrama para clasificar las aguas de riego según el U.S Salinity Laboratory Staff (1954)

Una vez es obtenida la clasificación, se comparó con el Cuadro 3, en base a los valores establecidos en la norma, lo que permite una interpretación para la calidad del agua.

Cuadro 3. Valores para la interpretación para la calidad del agua de riego por Normas Riverside

Clasificación de las aguas: Normas Riverside	
Tipos	Calidad y normas de uso
C1	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas solamente en suelos de muy baja permeabilidad.
C2	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso para su lavado y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C3	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego en suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos tolerantes a la salinidad.
C4	Agua de salinidad muy alta, que en muchos casos no es apta para el riego. Solo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar la salinidad del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad y técnicas específicas de riego.

S1	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, en suelos cuyo drenaje sea deficiente, hay riesgo de acumulación de este elemento, que puede provocar problemas en cultivos muy sensibles al mismo.
S2	Agua con contenido medio de sodio, y, por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de este elemento en el suelo, especialmente en los de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante, aplicando las técnicas correctoras que sean necesarias.
S3	Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación del mismo en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y el empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S4	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en casos de baja salinidad y tomando las precauciones apuntadas.

Fuente: U.S. Soil Salinity Laboratory (1954).

El RAS valora la proporción relativa de sodio (Na⁺) con respecto al calcio (Ca⁺) y magnesio (Mg⁺) y representan las concentraciones de cada uno de ellos en el agua de riego, expresado en miliequivalentes por litro (meq/litro). Se define con la siguiente fórmula:

$$RAS = \frac{Na}{\frac{\sqrt{Ca + Mg}}{2}}$$

Donde:

RAS= relación adsorción sodio (adimensional)

Ca= concentración del calcio en el agua meq/L

Mg= concentración de magnesio en el agua meq/L

A la vez, para complementar la valoración utilizamos Las normas de calidad de agua de la FAO (1976), donde evaluamos la calidad de agua para riego bajo los siguientes parámetros: salinidad (Conductividad eléctrica y Sólidos totales), toxicidad (Sodio y Cloro) y efectos varios (Bicarbonatos y pH), (anexo 11).

4.7. Materiales y equipos

Pruebas de infiltración

- Anillos de 6 pulgadas de diámetro
- Botella plástica graduada o probeta de 449 ml.
- Agua
- Mazo
- Cronometro
- Tabla de madera
- GPS

Calicatas y barrenadas

- Palas
- Cobas
- Cinta métrica
- Bolsas para muestras
- Cuchillo
- Tabla Munsell
- Barreno
- GPS

V. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Oferta del agua subterránea en El Plantel

5.1.1. Precipitación y temperatura

La precipitación media anual en El Plantel es de 1026.08 mm, alcanzando precipitaciones máximas anuales durante la estación lluviosa de 1407.6 mm.

La temperatura media anual se registra en 27.6 °C, y tiende a aumentar gradualmente durante la época de verano registrando una máxima de 29.70°C. Durante la estación lluviosa las temperaturas suelen ir disminuyendo, dado a la humedad presente en el ambiente, los árboles recuperan su follaje de modo que estos factores propician condiciones agradables de temperatura logrando registrar una mínima anual de 26.63°C.

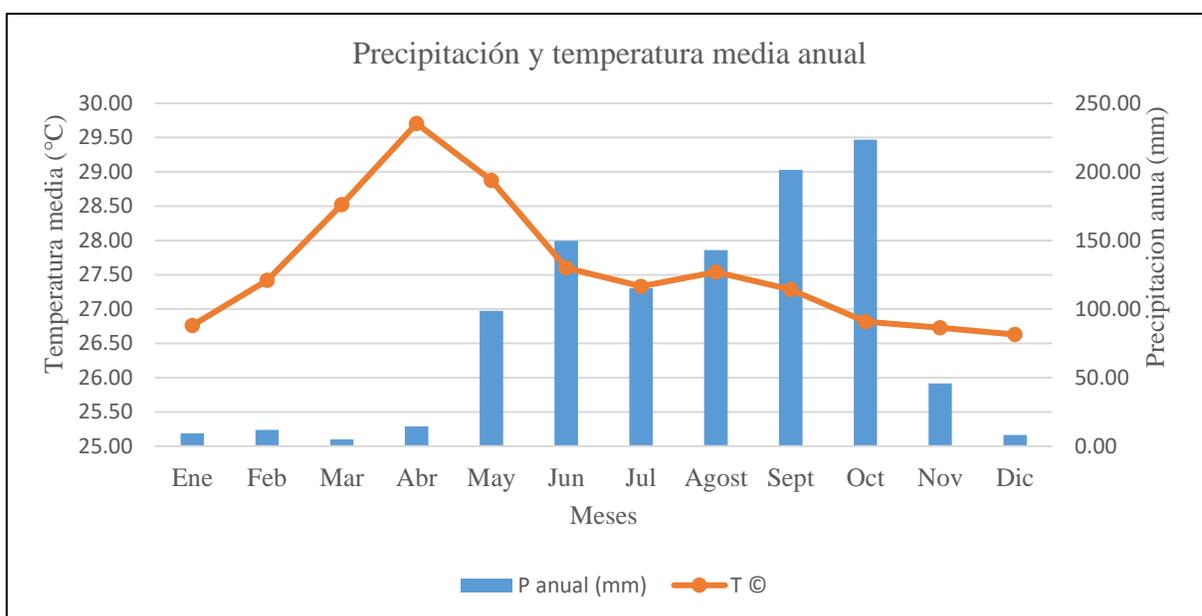


Figura 3. Precipitación y temperaturas anuales de El Plantel período 2008-2020

5.1.2. Características del suelo

La textura predominante en el área de estudio es de arcillosa a franco arcillosa, generalmente encontramos suelos profundos, moderadamente profundos y suelos superficiales, bien drenados a moderadamente drenados, con colores de café oscuro a pardo amarillo oscuro, con pendientes

que oscilan de 0 % - 27%. En los suelos poco profundos se encuentra una capa de toba volcánica que impide el desarrollo radicular de la vegetación.

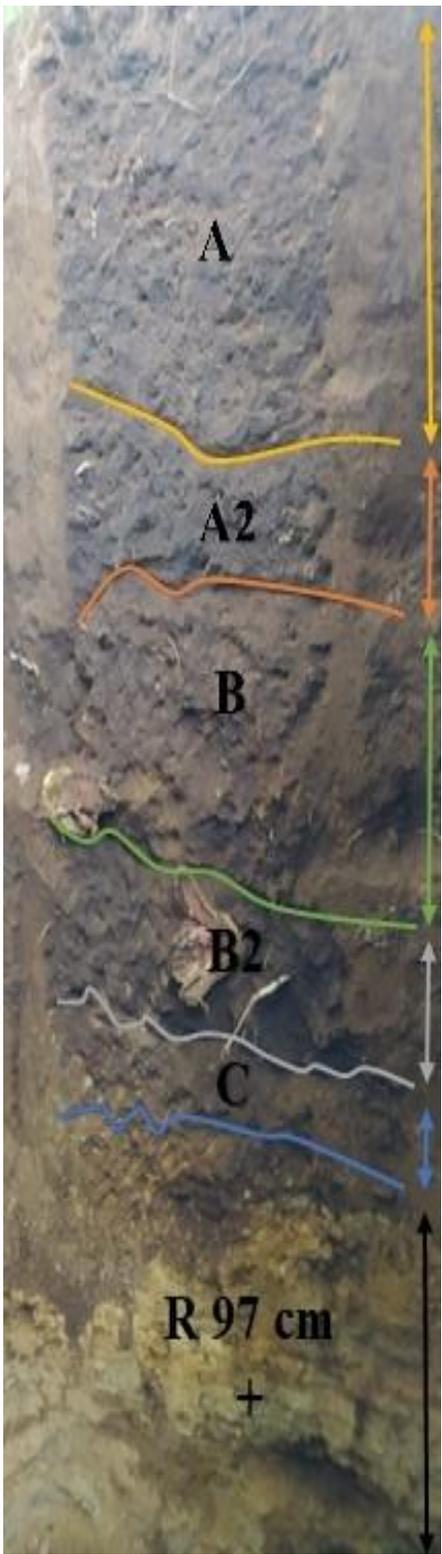
Los resultados obtenidos a partir del análisis de los perfiles de suelo #1 y # 2 se presentan a continuación:

Descripción de los perfiles de suelo

Perfil N°.1

El primer perfil se realizó en una zona de bosque natural ubicada al Sur del pozo en estudio (Pozo #1), en las coordenadas UTM X: 599419, Y: 1339384 con una altitud de 115 msnm. El suelo de esta área se clasificó como capacidad I, con una forma del terreno plana, suelos bien drenados, Capacidad de Campo al 37,33% y Punto de Marchitez Permanente al 20.17%. Cabe destacar que el área donde se realizó esta calicata se encuentra bajo una cobertura de bosque latifoliado ralo. Según Porta et al. (2003) este tipo de cobertura permite que sus raíces mejoren la capacidad de infiltración y su drenaje. En el cuadro 4 se presenta la descripción de las características encontradas en el perfil #1.

Cuadro 4. Descripción del perfil N°.1

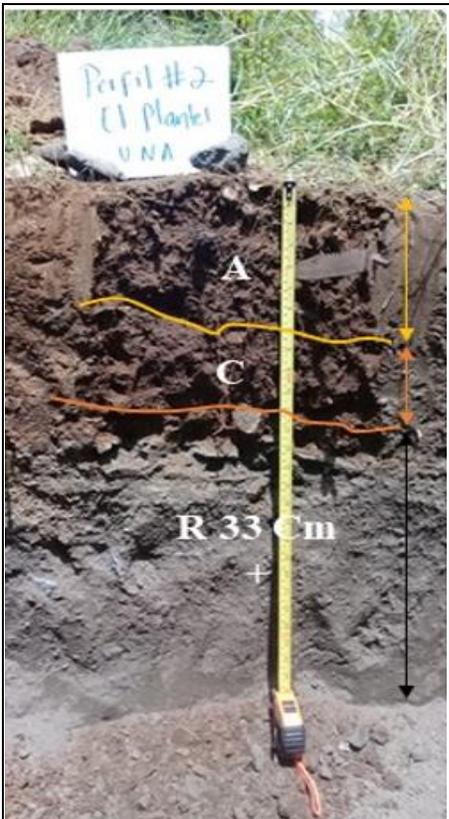
	<p>Horizonte A</p>	<p>Profundidad de 0-34 cm, color en húmedo café muy oscuro 10 YR 2/2, estado húmedo, textura arcillosa, estructura granular compuesta con pequeños bloques subangulares, de consistencia moderadamente freable en seco, presencia abundante de macro, meso y microporos, presencia abundante de raíces finas, pocas raíces medias y ninguna raíz gruesa, con actividad de microfauna (abundantes hormigas y lombrices de tierras), limite gradual ondulado, presencia de gravas en un 4%.</p>
	<p>Horizonte A2</p>	<p>Profundidad de 34-46 cm, color en húmedo café oscuro 7.5 YR 3/2, estado húmedo, textura arcillosa, estructura granular, de consistencia freable en seco, presencia de abundantes meso y microporos, poca presencia de raíces medias y finas, actividad de microfauna (presencia de huecos de hormigas), limite lineal.</p>
	<p>Horizonte B</p>	<p>Profundidad de 46-68 cm, color en húmedo café muy oscuro 7.5 YR 2.5/3, estado húmedo, textura arcillosa, estructura de bloques subangulares y granular compuesto, consistencia moderadamente freable en seco, presencia de pocas raíces medias y algunas finas, actividad de microfauna (presencia de huecos de hormigas), limite gradual ondulado, presencia de gravas en un 5%.</p>
	<p>Horizonte B2</p>	<p>Profundidad de 68-86 cm, color en húmedo café oscuro 10 YR 3/3, estado húmedo, textura arcillo arenosa, estructura de bloques subangulares, consistencia moderadamente freable en seco, poca presencia de macro y mesoporos, abundantes microporos, presencia de raíces gruesas, pocas medias y algunas finas, evidencia de macrofauna, el límite es gradual ondulado, presencia de un 10% de gravas.</p>
	<p>Horizonte C</p>	<p>Profundidad de 86-97 cm, color en húmedo café amarillento oscuro 10 YR 4/4, estado húmedo, textura arenosa, estructura de bloques angulares y subangulares, consistencia moderadamente freable en seco, poca presencia de macro y mesoporos, abundantes microporos, poca presencia de raíces finas, presencia de hormigas, el límite es lineal, presencia de un 20% de gravas.</p>
	<p>R</p>	<p>La roca madre se encontró a partir de los 97 cm de profundidad en adelante.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Perfil N°.2

El segundo perfil se realizó en un área de pasto mejorado ubicada al noroeste del pozo en estudio (#1), a su vez se encuentra a 20 mts de los pozos de monitoreo #3 y #4 en las coordenadas UTM X: 598653, Y: 1339893 con una altitud de 109 msnm. Cabe destacar que el suelo en esta área esta compactado debido al paso de maquinarias y pastoreo, se presenta en el cuadro no. 5 la descripción de las características encontradas en el perfil #2.

Cuadro 5. Descripción del perfil N°.2

	<p>Horizonte A</p>	<p>Profundidad de 0-28 cm, color en húmedo café oscuro (10 YR 3/3), estado húmedo, textura franco arcillosa, estructura de bloques angulares y subangulares, consistencia moderadamente freable en seco, poca presencia de mesoporos y abundantes microporos, presencia abundante de raíces finas, evidencia de actividad de microfauna (huecos de hormigas), el límite es lineal, con una presencia de un 10% de gravas.</p>
	<p>Horizonte C</p>	<p>Profundidad de 28-33cm, color en húmedo café muy oscuro 7.5 YR 2.5/2, estado húmedo, textura franco arcillosa, estructura granular compuesta, de consistencia freable en seco, poca presencia de mesoporos y abundantes microporos, poca presencia de raíces finas, no se encontró evidencia de actividad de microfauna, el límite es lineal, presencia de un 20% de gravas,</p>
	<p>R</p>	<p>A partir de los 33cm se encuentra una capa de toba volcánica.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Textura

En el cuadro 6, se presentan las texturas de los 3 primeros horizontes del perfil #1 y primer horizonte del perfil #2.

Cuadro 6. Texturas predominantes en los perfiles #1 y #2 en El Plantel

Identificación	Partículas %			Clase textural
	Arcilla	Limo	Arena	
Perfil # 1 A: 0-34 cm	43.6	36	20.4	Arcilloso
Perfil # 1: A: 34-46 cm	47.6	34	18.4	Arcilloso
Perfil # 1 B: 46-68 cm	47.6	34	18.4	Arcilloso
Perfil # 2 A: 0-28 cm	37.6	32	30.4	Franco Arcilloso

Fuente: Laboratorio de Suelos y Agua (2020).

Los suelos arcillosos son pesados, no se drenan ni desecan fácilmente, son fértiles, poseen una capacidad de retención de agua disponible alta, micro porosidad alta y contienen buenas reservas de nutrientes (Porta et al.,2003).

Los suelos franco arcillosos poseen una consistencia adhesiva, con una tasa de infiltración de regular a deficiente, y una capacidad de retención de humedad en capacidad de campo y punto de marchitez permanente de media a alta, (Centro Nacional de Investigadores de Café, CENICAFE, 1975, como se citó en Solís, 1985).

Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Los resultados obtenidos del análisis en laboratorio indican que la CC y PMP para suelos con texturas arcillosas en los tres primeros horizontes del perfil #1 presentan un promedio de 37.33% y 20.17% respectivamente. Para suelos franco arcillosos los valores de CC y PMP obtenidos del perfil #2 del primer horizonte son 31.66% y 17.10 %.

Cuadro 7. Propiedades hidrofísicas del suelo relacionadas con la retención de humedad en El Plantel

Identificación	CC (%)	PMP (%)
Perfil #1	37.33	20.17
Perfil #2	31.64	17.10

Fuente: Laboratorio de Suelos y Agua (2020).

Densidad aparente (Da)

Los valores de densidad aparente se tomaron de Fuentes y García (1999) clasificada por tipo de textura de suelo. Estos autores proponen unos rangos de valores, donde permitió identificar la Densidad Aparente de acuerdo a las texturas de suelo del área de estudio, presentados en el cuadro 8.

Cuadro 8. Valores de densidad aparente según la textura predominante en El Plantel

Identificación	Textura	Densidad aparente (g/cm³)
Perfil #1	Arcillosa	1.20-1.30
Perfil #2	Franco-arcillosa	1.30-1.40

Fuente: Fuentes y García (1999).

5.1.3. Pendiente

Las pendientes del área de estudio oscilan de 0 a 10 % o más, clasificándose como pendientes muy planas (0-5%), planas (5-10%) y media a moderada (>10%), predominando las pendientes planas en toda el área de El Plantel (Figura 4).

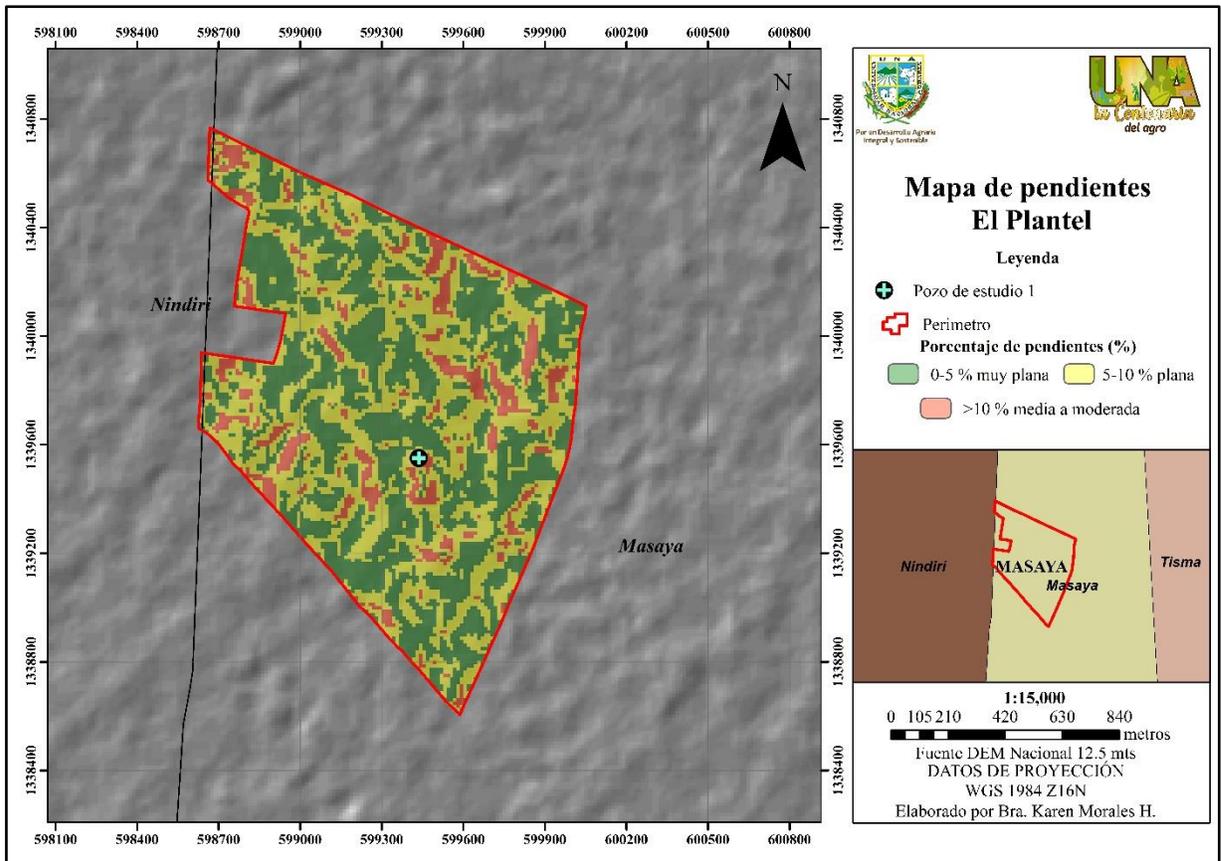


Figura 4. Pendientes predominantes en El Plantel

5.1.4. Uso del suelo

En el mapa de uso de suelo se presentan nueve categorías de clasificación identificadas en el área de estudio, donde se identificaron los siguientes usos: cultivos anuales, cultivos permanentes, pastos mejorados, plantación de eucalipto, bosque latifoliado ralo, barbecho, potreros, tacotal y áreas de infraestructuras (Figura 5 y cuadro 9).

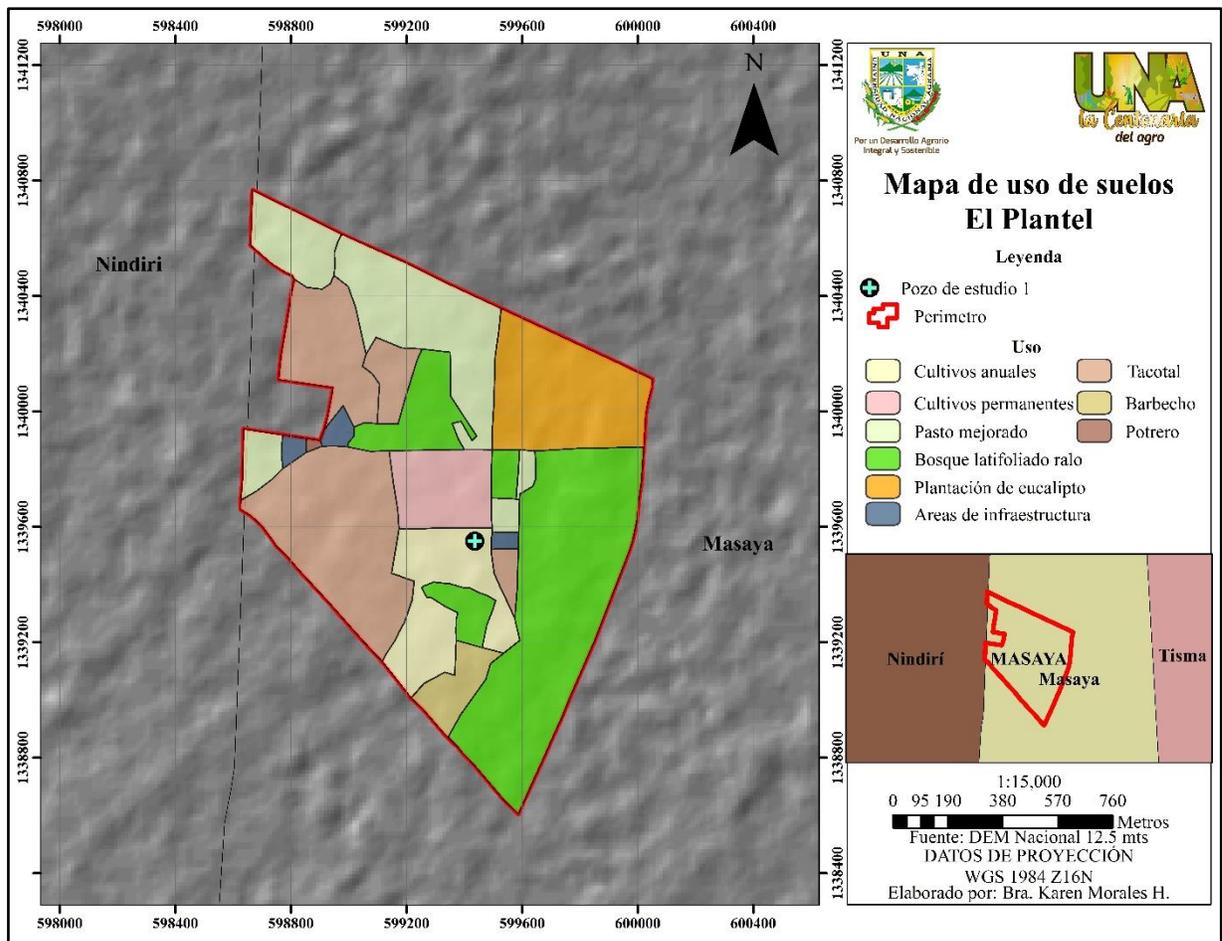


Figura 5. Uso de suelos establecidos en El Plantel

El bosque latifoliado ralo destaca con una superficie de 0.51 km², y representan el 30.13 % de la superficie total del área de estudio. Dentro de estas áreas se encuentran especies tales como Guapinol (*Hymenaea courbaril*), Falso Roble (*Tabebuia rosea*), Teca (*Tectona grandis*), Neem (*Azadirachta indica*), Guácimo (*Guaozuma ulmifolia*), Tigüilote (*Cordia dentata poir*), Papaturro (*Cocoloba floribunda*), entre otras.

Los tacotales son la segunda área en destacar con una superficie que abarca 0.40 km², que representa al 23.64 % del área total de estudio. Son zonas con una cobertura principalmente compuesta de maleza espesa, con algunos árboles y arbustos dispersos.

Los pastos abarcan una superficie de 0.29 km², representando el 17.09 % de su superficie. Se destina principalmente para la alimentación del ganado perteneciente al Centro de Experimentación y Validación de Tecnología El Plantel.

Los cultivos anuales ocupan un área de 0.14 km², representa el 8.39 % de la superficie total del área de estudio. Se cultivan principalmente granos como el maíz (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum bicolor*), frijol (*Phaseolus vulgaris L*), y cucurbitáceas; principalmente pipián.

Los cultivos permanentes ocupan un área de 0.091 km², representan el 5.32 % de la superficie total del área de estudio. Dentro de ella encontramos principalmente árboles frutales; tales como el mango (*Mangifera indica*), níspero (*Manilkara zapota*), aguacate (*Persea americana*), coco (*Cocos nucifera*), granada (*Punica Granatum*) y musáceas.

Cuadro 9. Área comprendida por cada uso identificado y porcentaje respecto al área total en El Plantel

Uso del suelo	Área (km ²)	Porcentaje %
Bosque latifoliado ralo	0.52	30.13
Tacotal	0.41	23.64
Pasto	0.29	17.09
Plantación de eucalipto	0.19	11.47
Cultivos anuales	0.14	8.39
Cultivos permanentes	0.09	5.32
Barbecho	0.04	2.54
Áreas de infraestructura	0.02	1.32
Potrero	0.0018	0.10
Total	1.72	100

Fuente: Elaboración propia.

Los demás usos que corresponden al 3.96% están distribuidos en superficies pequeñas y lo componen áreas de barbecho, infraestructuras y potreros.

5.1.5. Velocidad de infiltración

Los resultados de la velocidad de infiltración media obtenidos de acuerdo con el uso de los suelos predominantes en el área de estudio se presentan en mm/h en el cuadro 10, esto con el fin de comparar la velocidad de infiltración por cada uso.

Cuadro 10. Velocidad media de infiltración por cada uso de suelo identificado en El Plantel

Uso del suelo	Número de pruebas	Velocidad de infiltración media(mm/h)
Bosque latifoliado	9	358.31
Plantación de eucalipto	5	253.07
Cultivos permanentes	18	217.97
Cultivos anuales	14	165.45
Pasto	2	113.20

Fuente: Elaboración propia.

En el bosque latifoliado ralo se obtuvo una velocidad media de infiltración 358.31 mm/h, es el valor más alto obtenido con relación a los otros usos. Según otras investigaciones, este valor obtenido sugiere que al ser un suelo que este permanente protegido, mejora las condiciones físicas del mismo; es decir, al existir una capa de hojarasca sobre la superficie del suelo, esta retarda el escurrimiento superficial, disminuyendo la formación de escorrentías; lo que proporciona mayor tiempo para que el agua infiltre fácilmente hacia el suelo (Gómez et al.,2014).

Otro factor influyente en la velocidad de infiltración media en este uso, fue la presencia abundante de macro y meso poros de este suelo observado en el perfil #1, está condición permite un mayor movimiento del agua a través de todo el perfil.

La plantación de eucalipto presentó velocidad media de infiltración de 253.07 mm/h, es un valor alto con relación al obtenido de los cultivos anuales, permanentes y pasto. Al igual que en el bosque latifoliado ralo, los suelos donde se encuentran estas plantaciones poseen una cobertura matorralosa que protege al mismo, evitando la formación de escorrentías; según Martínez Ruiz et al. (2006) dichas condiciones conllevan a una mayor disponibilidad de agua hacia el suelo, promoviendo así la infiltración

La velocidad media de infiltración en los cultivos permanentes fue de 217.97 mm/h. Este resultado se presenta debido a que en esta área se establecen principalmente árboles frutales; por lo cual, es probable que este tipo de cobertura con distintas especies de árboles permita mejorar la infiltración. La infiltración se relaciona con numerosos tipos de comunidades vegetales indicando que la textura es un factor menos significativo que la vegetación (Blackburn et al, 1992, como se citó en Zapata y Manzano, 2008).

Los cultivos anuales, presentaron una velocidad de infiltración de 165.46 mm/h, este valor de infiltración es moderadamente bajos con relación al bosque y cultivos permanentes, este resultado podría sugerir que el suelo bajo este tipo de uso, está constantemente alterado por la preparación del terreno con maquinaria (Gómez et al., 2014).

Los pastos muestran una velocidad de infiltración media de 113.20 mm/h, presentando la velocidad de infiltración más bajo con relación a los otros usos contemplados en este estudio. Gómez et al. (2014) afirma que el grado de compactación y el manejo al que pudo estar sometido un suelo en años anteriores, conlleva a una baja tasa de infiltración producto de dicha alteración. Esto lo podemos comprobar dado a la presencia abundante de microporos observados (Perfil #2), que conlleva a que este se sature de manera más rápida por las aguas provenientes de las precipitaciones o riego; por lo cual esto lo confirmamos con el resultado de velocidad media obtenido.

5.1.6. Recarga Potencial (Rp)

Los resultados obtenidos de la recarga potencial a partir del BHS propuesto por Schosinsky (2006), se presentan en el cuadro 11, donde se muestra un resumen de la recarga potencial estimada por cada uso de suelo contemplado en el área de estudio.

Cuadro 11. Recarga potencial por cada uso identificado en El Plantel

Uso del suelo	Área (m ²)	Recarga Potencial Rp (m/año)	Recarga Potencial Rp (m ³ /año)
Bosque latifoliado ralo	518 000.00	0.101	52 362. 52
Plantación de eucalipto	196 969.52	0.101	19 910.85
Cultivos anuales	144 172.91	0.061	8 922.22
Cultivos permanentes	91 407.98	0.052	4 791.86
Pasto	293 549.30	0.041	12 086.69
Total	1 244 099.71		98 074.14

Fuente: Elaboración propia.

En el bosque latifoliado ralo se obtuvo una recarga potencial de 101 mm (0.101 m) y es el que aporta mayor volumen de Rp con 52 362.52 m³/año. Matus et al. (2009) afirma que las condiciones de pendiente, uso de suelo, cobertura vegetal y tipo de suelo influyen directamente al aporte de agua hacia la recarga. El área donde se encuentran establecidos los bosques presenta cobertura vegetativa permanente y con poca intervención.

Otra característica a considerar en la recarga del bosque latifoliado ralo, son las pendientes que oscilan de 0- 10 %, clasificadas como pendientes planas. Según Matus et al. (2009) en estas mismas existen condiciones de muy altas a altas de recargar agua hacia el acuífero; favorecen el proceso de infiltración de las aguas ya que estas permanecen por más tiempo sobre el suelo dado a que su movimiento procede de una forma más lenta sobre la superficie del suelo evitando pérdidas por escorrentía. Esta afirmación lo comprobamos con la velocidad de infiltración media obtenida en esta área (358.31 mm/hr).

El sistema de raíces profundo de los árboles forestales, el alto contenido de materia orgánica y la bien desarrollada actividad micro orgánica mejoran las propiedades del suelo e incrementan la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos forestales (FAO, 2009, como se citó en Herrera, 2016). Esto lo podemos corroborar con la presencia de macro poros observados en el perfil #1.

La plantación de eucalipto genera una Rp de 101 mm (0.101m). Son el segundo uso que aporta una mayor recarga. El volumen de Rp anual que aporta este uso es de 10 503.15 m³/anual. Al

igual que en el bosque latifoliado ralo, estos se encuentran en condiciones de pendientes planas, con una cobertura matorralosa que protege al suelo de procesos erosivos, los suelos poseen características hidrofísicas similares dado a su proximidad con el bosque latifoliado y no se evidencia problemas por escorrentías.

Los cultivos anuales presentan una R_p de 61 mm (0.061m) y aporta un volumen de R_p al acuífero de 8 922.22 m³/anual. Los abundantes macros y meso poros característicos de estos suelos aguas arriba del pozo, así como el buen drenaje de estos permiten una mayor infiltración y movimiento del agua; promoviendo la recarga (FAO, 2005).

Los cultivos permanentes generan una R_p de 52 mm (0.052m), aportando un volumen de R_p al acuífero de 4 791.86 m³/anual. Este resultado sugiere que, al presentar árboles frutales con fines de aprovechamiento, la competencia por espacio y necesidades hídricas para su crecimiento, genera una mayor demanda de agua que los cultivos anuales. Las necesidades hídricas netas de un frutal están ligadas a los procesos de crecimiento, mantención y pérdidas por ETR. Mientras transcurre la etapa de crecimiento, aumenta el área foliar, por consiguiente, aumenta el número de estomas y como resultado, la transpiración (Orrego, 2007, como se citó en Zúñiga, 2013).

Cabe enfatizar, que a pesar que los cultivos anuales como permanentes presentan similares propiedades hidrofísicas del suelo; así como condiciones de pendiente, la recarga potencial es mayor en los cultivos anuales (0.061 m) que en los cultivos permanentes (0.052 m), esto es debido a que la lámina de agua a CC del cultivo permanente es mayor que del cultivo anual y está asociado a la diferencia de las profundidades radicales entre cada uno (anexo 6 y 7). Esto indica que hay mayor agua disponible para desarrollo vegetativo en los cultivos permanente por lo tanto menor recarga.

La R_p en el pasto es de 41 mm (0.041 m) y aporta un volumen de recarga de 12 086.69 m³/año. Este resultado de recarga es bajo en comparación con las R_p de los otros usos, se puede observar en el BHS, que el pasto fue el único que presentó escorrentía de 27 mm/anuales; esto puede estar ocurriendo debido al grado de compactación presente en estos suelos producto del

pastoreo, paso de maquinaria y en la capacidad de retención de agua en estos suelos, que se ve reflejado a la baja infiltración en esa área (113.20 mm/hr).

Además, presento la mayor ETR con 835 mm/anuales (anexo 4). Las condiciones de pastizales podrían incentivar mayores pérdidas de agua por ETR; así mismo, pérdidas de agua por escorrentía, debido a la baja infiltración en estas áreas (Mestas, 2011). Es importante mencionar que el área donde se encuentra establecido el pasto, se observó en el perfil # 2 que se encuentra en suelo superficial con una profundidad 33 cm. Esto sugiere, que en esta zona (pastizales), ha disminuido la capa superficial del suelo debido a la compactación por efecto del pastoreo, esto trae como consecuencia una reducción de la porosidad del suelo; por tanto, una reducción de la infiltración y recarga potencial. Esto se pudo confirmar con la observación de mayor presencia de microporos en el perfil #2.

Los resultados de la recarga potencial anual total de los usos evaluados en El Plantel fueron de 92 846.14 m³/año, considerándose este como la oferta de agua o aporte al almacenamiento de agua disponible del acuífero en el área de estudio.

5.2. Demanda del agua para riego en El Plantel

La demanda de agua para riego estimada a partir del análisis de los datos recopilados en campo se presenta en el cuadro 12.

Cuadro 12. Demanda anual para riego por cultivo establecido en El Plantel

Uso del suelo	Área (km ²)	Demanda de agua en (m ³ /año)
Pasto	0.29	48 404.75
Cultivos permanentes	0.09	24 172.00
Cultivos anuales	0.14	223.87
Total	0.52	72 800.62

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados indican que para aplicar riego en el área de pasto se extrae un volumen de agua para riego de 48 404. 75 m³. Este rubro cuenta con un sistema de riego por cañón durante los meses de enero a abril, así como el período de la canícula entre julio a agosto.

En los cultivos permanentes, para aplicar riego se extrae un volumen de agua de 24 172. 004 m³. Estos cultivos, principalmente los frutales cuentan con sistemas de riego por goteo a excepción del plátano que utilizan sistema de riego por aspersión. El período de riego para las áreas de plátano ocurre en los meses de noviembre a junio, incluyendo también el período de la canícula. Los frutales como el aguacate, níspero, mango, coco en asocio con guayabas cuentan con períodos de riego en los meses de noviembre a junio; incluyendo a su vez el periodo canicular. Las áreas de guayaba que no se encuentran con ningún frutal en asocio, el riego se aplica de los meses de noviembre a junio.

En los cultivos anuales, el volumen de extracción para aplicar riego es 223.87 m³. Para los cultivos de frijol, sorgo y maíz. El período de riego es de enero a junio, posteriormente de noviembre a diciembre, después del período lluvioso. Para las cucurbitáceas (pipián) y raíces (quequisque y yuca) el período de riego es de noviembre a mayo. El sistema de riego utilizado para los cultivos de frijol, sorgo y maíz es riego por aspersión; para los cultivos pipián, yuca y quequisque se utilizan riego por mini aspersión.

La demanda total del agua subterránea para riego extraída del pozo #1 es de 72,800.62 m³ anual. Considerando que el aporte anual de la Rp generada por El Plantel hacia el acuífero es de 92 846.14 m³; a partir de estos resultados, podríamos valorar que la extracción de agua para cubrir la demanda corresponde al 78% de la oferta determinada; es decir, el 22% restante (de la oferta) forma parte del agua que queda libre para el almacenamiento del acuífero en el área de estudio. Este resultado sugiere que la oferta de agua en El Plantel es mayor a la extracción de agua utilizada en el mismo; por lo tanto, no se produce sobrexplotación del recurso subterráneo.

5.3. Calidad del agua para riego

Los resultados del análisis de laboratorio obtenidos en las muestras de agua tomadas en los pozos #1, #3 y #4 del área de estudio, para determinar la calidad del agua por la Norma Riverside y parámetros de calidad presentado por FAO (1985), se pueden observar en el cuadro 13.

Cuadro 13. Resultados del análisis de agua de los pozos #1, #2 y #4 en El Plantel

Parámetros	Símbolos	Unidades	Pozo #1	Pozo #3	Pozo #4
Calcio	Ca ⁺⁺	meq/l	0.43	2.55	2.7
Magnesio	Mg ⁺⁺	meq/l	0.23	1.44	1.1
Sodio	Na ⁺	meq/l	1.44	1.48	1.68
Potasio	K ⁺	meq/l	0.50	0.45	0.38
Carbonatos	CO ₃ ⁻	meq/l	1.48	1.19	1.19
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	meq/l	0.74	3.56	3.56
Cloro	Cl ⁻	meq/l	0.41	0.54	0.50
Potencial de hidrogeno	pH	Unidad de pH	7.63	7.09	7.22
Conductividad eléctrica	CE	dS/m	0.51	0.62	0.62
Sólidos Totales Disueltos	STD	mg/l	328.19	397.44	394.88

Fuente: LABSA.

Los resultados de la muestra tomada en el pozo principal (pozo #1) presentaron valores de cationes calcio (Ca⁺⁺), magnesio (Mg⁺⁺), sodio (Na⁺) y potasio (K⁺) de 0.43, 0.23, 1.44, 0.50 meq/l respectivamente. Los valores de las muestras tomadas en los Pozo #3 y pozo #4 se encontraron similares a excepción del Ca⁺⁺ y el Mg⁺⁺ que en esto pozos se presentaron en mayores concentraciones (cuadro 13).

Las concentraciones de Ca, Mg, Na, y K del pozo #1, se encuentran dentro de los rangos habituales de agua para riego (anexo 12). De igual forma las concentraciones de estos cationes para los pozos #3 y #4 se encuentran dentro de estos rangos.

En cuanto a los aniones, las concentraciones de carbonatos (CO₃⁻), bicarbonatos (HCO₃⁻) y cloro (Cl⁻) en el pozo #1, fueron 1.48, 0.74 y 0.41 meq/l respectivamente. Los valores de las muestras

tomadas en los pozos #3 y #4 de los HCO_3^- como se muestra en el cuadro 13, presentaron mayores concentraciones que las del pozo #1 (principal).

Las concentraciones de los iones CO_3^- , del pozo #1, #3 y #4 exceden los rangos habituales (0-1 meq/l) encontrados en agua para uso riego propuesto por FAO (anexo 11). Esto es debido a la hidroquímica del acuífero de Las Sierras perteneciente al área de estudio, ya que predominan las aguas bicarbonatadas cálcicas; por ello la presencia de bicarbonatos como carbonatos (Krasný & Hecht, 1998).

Los niveles del ion HCO_3^- para el pozo #1, se encuentra dentro de los rangos habituales de riego, (0-10 me/l) al igual que las concentraciones encontradas en los pozos #3 y #4.

Las concentraciones de Cl^- en el pozo #1 se encuentran dentro de los rangos habituales de agua para riego (0-30 me/l), de igual manera las concentraciones para los pozos #3 y #4.

El valor de pH, conductividad eléctrica (CE) y sólidos Totales Disueltos (STD) en el pozo # 1, fueron 7.63, 0.51 dS/m y 328.19 mg/l, respectivamente. Al comparar con los valores de los pozos #3 y #4 los resultados son similares a excepción de la CE que presentan un valor un poco mayor, este resultado podría estar relacionado con los STD, se encuentra un poco más alto en estos pozos que en el pozo #1. Esto podría ser influenciado por la presencia del ion Bicarbonato, ya que coincide con los valores de pH que se encuentran entre 7.09-7.63 en los pozos de estudio. Esto es debido que para valores de pH entre 7-10, predomina el ion Bicarbonato (Hem, 1985).

De igual modo, tanto el potencial de hidrogeno (pH), como los STD se encuentra dentro de los rangos de agua apta para riego (FAO, 1985).

5.3.1. Calidad del agua para riego por Riverside

Por medio de las concentraciones de sodio (Na^+), Magnesio (Mg^+), Calcio (Ca^{++}) y valor de la CE se calculó para los pozos #1, #3 y #4 el valor del R.A.S. se presenta a continuación los valores obtenidos para cada pozo en el cuadro 14.

Cuadro 14. Valor del RAS obtenido para el agua de los pozos #1, #3 y #4 en El Plantel

Muestras	R.A. S	Clasificación de las aguas (Normas Riverside)
Pozo # 1	2.51	C2S1
Pozo # 3	1.05	C2S1
Pozo # 4	1.22	C2S1

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los valores de CE y RAS se estableció la clasificación de las muestras de aguas extraídas de los pozos #1, #3 y #4 según la norma Riverside, siendo las aguas de El Plantel clasificadas como C2S1, nos indica que son aguas aptas para riego con control para evitar problemas de salinidad, presentan un grado de salinidad media, con bajo contenido de sodio y apta para riego en la mayoría de los casos (U.S Salinity Laboratory Staff, 1954).

En suelos cuyo drenaje es deficiente, puede presentarse la acumulación de sodio, de modo que puede ocasionar problemas en cultivos sensibles a este elemento, por lo que es recomendable utilizar cultivos tolerantes a la salinidad (U.S Salinity Laboratory Staff, 1954). Dado al buen drenaje que presentan los suelos pertenecientes El plantel, momentáneamente no se ha registrado percances respecto a problemas de salinidad.

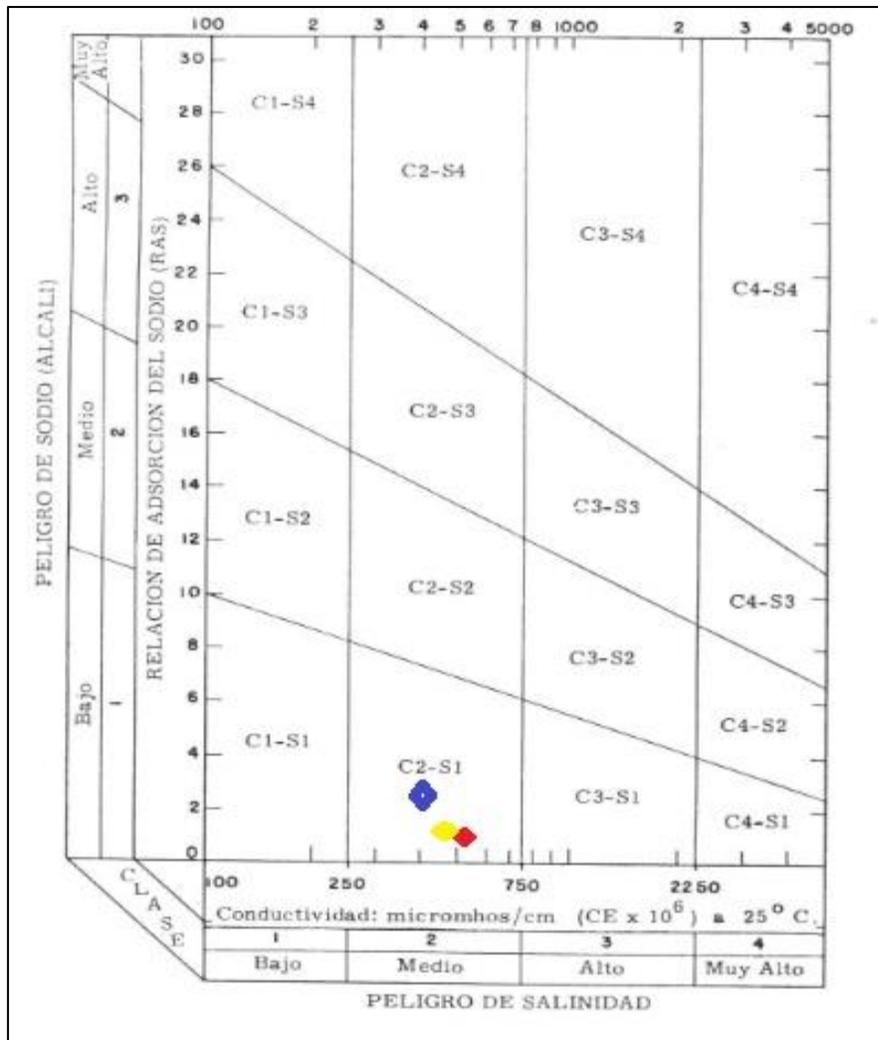


Figura 6. Clasificación del agua de los pozos #1 (azul), #3 (rojo) y #4 (amarillo) en El Plantel, según normas Riverside

5.3.2. Calidad del agua para riego por FAO

Simultáneamente, se evaluó la calidad del agua para riego por parámetros estipulados por la (FAO, 1985), considerando la salinidad, toxicidad específica y otros efectos. El resultado de las muestras de agua del pozo #1 y pozos #3 y #4 analizados bajo estos valores de referencia, Se presentan a continuación en el cuadro 15.

Cuadro 15. Interpretación de la calidad de agua para riego para los pozos #1, #3 y #4 en El Plantel, según directrices de FAO (1985)

Problemas potenciales en aplicación de riego	unidades	Pozo #1	Pozo #3	Pozo #4	Grado de restricción de uso		
					ninguno	Ligero a moderado	severo
Salinidad (afecta la disponibilidad de agua del cultivo)							
CE	dS/m	0.5128	0.621	0.617	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
STD	mg/l	328.19	397.44	394.88	< 450	450 – 2000	> 2000
Toxicidad iónica específica (afecta a Cultivos sensibles)							
Sodio (Na)							
Riego superficial	SAR	2.51	1.05	1.22	< 3	3 – 9	> 9
Riego por aspersión	me/l	1.44	1.48	1.68	< 3	> 3	
Cloro (Cl)							
Riego superficial	me/l	0.41	0.54	0.5	< 4	4 – 10	> 10
Riego por aspersión	me/l	0.41	0.54	0.5	< 3	> 3	
Efectos diversos (afecta a cultivos susceptibles)							
Bicarbonatos (HCO₃)							
(solo rociadores aéreos)	me/l	0.74	3.56	3.56	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
pH		7.63	7.09	7.22	Rangos normales 6.5 – 8.4		

Fuente: Elaboración Propia.

Con relación a la salinidad, al relacionar los datos de CE y STD con el rango de valores establecidos por problemas de salinidad, se determinó que el agua perteneciente al pozo #1, #3 y #4 se encuentran dentro de los rangos habituales en agua para riego, encontrándose por debajo de 0.7 ds/m (CE) y menores de 450 mg/l (STD); de modo que es agua sin ningún tipo de restricción y apta para riego.

Por toxicidad iónica específica, de acuerdo al ion sodio (Na) el agua de los pozos #1, #3 y #4 no presentan ningún grado de restricción para aplicar riego por superficie y aspersión, ya que se encuentra dentro de los rangos menores a 3 meq/l (cuadro 15).

Las concentraciones del ion cloro (Cl) fueron de 0.41, 0.54, 0.5 meq/l. Al evaluar estos resultados no presentan ninguna restricción para aplicar riego superficial o aspersión (Cuadro 15).

Las concentraciones de HCO_3 presentes en el pozo #1, no representa ningún tipo de riesgo para aplicar riego por aspersión y mini aspersión; ya que está por debajo de los valores recomendado por la FAO (1.5 me/l). Sin embargo, los pozos #3 y # 4 las concentraciones de HCO_3 fueron de 3.56 me/l para ambos.

El agua subterránea proveniente de los pozos #3 y #4 posee un grado de restricción de ligero a moderado para aplicar riego por aspersión, dado a que puede presentarse un problema continuo de formación de escamas blancas en las hojas o frutos de los cultivos. Si en un futuro en planes de desinar estos pozos para riego, para evitar daños se sugiere un enfoque alternativo; el cual podría ser cambiar el diseño y el funcionamiento del sistema de rociadores, lo cual probablemente no resolverá el problema, pero puede minimizarlo (FAO, 1985).

Las medidas más útiles son:

- regar por la noche
- Aumente la velocidad de rotación de los aspersores o use cabezales rociadores
- Disminuir la frecuencia de riego.

Los valores de pH para los pozos #1, #3 y #4 se encuentran dentro de los rangos recomendados.

VI. CONCLUSIONES

1. La recarga potencial estimada a partir de la aplicación del BHS sobre los diferentes usos del suelo establecidos en El Plantel, indica que existen condiciones hidrofísicas que permiten la oferta de agua como aporte al almacenamiento de agua subterránea en el área de estudio durante la estación lluviosa, principalmente en los meses de septiembre-octubre.
2. La demanda de agua por los cultivos establecidos en El Plantel, no excede al volumen de agua del aporte de la oferta, cubriendo las necesidades de extracción de agua para riego, identificando de manera temporal que no existe explotación sobre el agua subterránea en el área de estudio.
3. Los resultados del análisis de agua del pozo #1, comparado con las Normas Riverside (U.S. Soil Salinity Laboratory, 1954) y calidad del agua para la agricultura (FAO, 1985), en general se determinó que el agua subterránea de esta zona es apta para riego. A excepción en los pozos #3 y #4, que reflejan posibles problemas en efectos varios bajo el parámetro de Bicarbonatos que presentan grado de restricción de ligero a moderado.

VII. RECOMENDACIONES

1. Rediseñar los programas de riego de acorde a las necesidades reales del cultivo mediante la creación de una base de datos con registros mensuales que refleje el volumen de aplicación de agua empleada por cada área cultivada.
2. Realizar monitoreo de forma periódica sobre la calidad de agua del pozo #1 para la valoración de las propiedades fisicoquímicas que presenten a lo largo de un tiempo determinado.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.G.; L. S. Pereira; D. Raes & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration, Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage.
- Ayers, R.S & Westcot, D.W. (1985). Water quality for Agriculture. FAO. <http://www.fao.org/3/t0234e/t0234e00.htm>
- Blanco Rojas, H. (2011). Áreas de recarga hídrica de la parte media-alta de las microcuencas Palo, Marín y San Rafaelito, San Carlos, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*. 2(2) ,181-204. <https://www.redalyc.org/pdf/5156/515651982005.pdf>
- Castillo Hernández, E. Calderón Palma, H. Delgado Quezada, V. Flores Meza, Y & Salvatierra Suarez, T. (2006). Situación de los recursos hídricos en Nicaragua. *Boletín Geológico y Minero*. 117 (1), 127-146. <https://repositorio.unan.edu.ni/2465/>
- Casado, A., Gil, V. & Campos, A. (2007). Consecuencias de la variación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del arroyo el Belisario, Buenos Aires, Argentina. *Revista Huellas*. 11, 9-26. <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pubpdf/huellas/n11a02casado.pdf>
- Catastro de Nicaragua. (1991). Catastro e inventario de recursos naturales 1971 geología y levantamiento de suelos de la región pacífica de Nicaragua. vol. II, parte 1, características generales, uso y manejo de suelos. Managua. <http://www.bio-nica.info/Biblioteca/CatastroNic971.pdf>
- Cotrina, T. y T, E. (2016). Análisis de la oferta y la demanda de agua para el cultivo de arroz en el ámbito del área de conservación privada Copallín, Amazonas. *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, 19(38), 17–21. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v19i38.13562>
- Cruz Serapio, K. & Alvarado Talavera, B.A. (2016). Diseño de riego localizado y aspersión en 15 hectáreas en la finca de la UNA el plantel, Masaya [tesis de grado, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/3360/>
- Díaz Suescun, L. L y Alarcón Africano, J. G. (2018). Estudio hidrológico y balance hídrico para determinar la oferta y demanda de agua de la cuenca de la Quebrada Niscota para un acueducto interveredal en Nunchia, Casanare [tesis de grado, Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15989/1/Proyecto%20Final.pdf>
- D'Elia, M., Paris, M., y Pérez, M. (2018). Balance de agua en un acuífero como base para la gestión sostenible y seguridad hídrica. *Aqua-LAC*. 10(1), 26-38. <http://aqua-lac.org/index.php/Aqua-LAC/article/view/188/167>

- Dell'amico Rodríguez, J.M., Morales Guevara D y Calaña Naranjo J.M. (2011). Monitoreo de la calidad del agua para riego de fuentes de abasto subterráneas en la parte alta del nacimiento de la cuenca almendares-vento. *Cultivos tropicales*, 32 (4), 71-81. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193222349010>
- FAO. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal, el significado de la porosidad del suelo. <http://www.fao.org/3/y4690s/y4690s00.htm#Contents>
- FAO. 2009. Guía para la descripción de suelos. <http://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- Fuentes Yagüe, J. y García Legaspi, G. (1999). Técnicas de riego. Mundo-prensa México, S.A de Cb. México.
- Mendoza, R. & Espinoza, A. (2017). Guía Técnica Para Muestreo de Suelos. (1^{er} ed). Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Service (CRS).
- Global Water Partnership Central América. (2017). La situación de los recursos hídricos en central américa: hacia una gestión integrada. Editorial GWP central américa. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/situacion-de-los-recursos-hidricos_fin.pdf
- Gómez, G.C., Munive Cerrón, R., Mallma Capcha, T. & Orihuela Villavicencio, C. (2014). Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas. *Apuntes de ciencias y sociedad*, 4(1), 32-42. DOI: <https://doi.org/10.18259/acs.2014004>
- Hargreaves, G.H. & Samani, Z.A. (1985). Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1, 96-99. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.26773>
- Hem, J. D., (1985). Study and interpretation of the chemical characteristic of natural water. US. Geological Survey Water.
- Herrera Ibáñez, I. R. (2016). La importancia del bosque en la recarga hídrica natural del acuífero noroeste de la ciudad de Guatemala. *Ciencia, Tecnología y salud*. 3 (1), 17-26. <https://core.ac.uk/download/pdf/268612281.pdf>
- Inter-American Network of Academies of Science (2012). Calidad de agua para las Américas editorial IANAS. <https://ianas.org/images/books/wb09.pdf>
- Inter-American Network of Academies of Science (2019). Calidad de agua para las Américas, riesgos y oportunidades, editorial IANAS. <https://ianas.org/wp-content/uploads/2020/07/02-Water-quality-INGLES.pdf>
- INETER (2020). Base de datos climáticos Nacionales del Instituto Nicaragüense de estudios territoriales. Consultada en noviembre 2020.

- Izabá Ruíz, R. D y García Guzmán, D.A (2018) Estimación de la disponibilidad hídrica superficial en la microcuenca del río Mapachá, San Lorenzo, Boaco. *Revista Agua y Conocimiento CIRA -UNAN*, 3 (1), 23-37. <https://revistacira.unan.edu.ni/index.php/AyC/article/view/70>
- Krásný, J., & Hecht, G. (1998). Estudio Hidrogeológico e Hidrogeoquímico de la Región del Pacífico de Nicaragua. Managua (2ª ed.). INETER.
- Losilla, M. (2012). Desarrollo del agua subterránea y balance hídrico. Presentación del curso de hidrogeología de la Maestría Regional Centroamericana En Ciencias Del Agua Con énfasis de la calidad del agua. Managua, Nicaragua, del 8 octubre al 12 de octubre.
- López Gueta, J., Fornés Azcoiti, J., Ramos González, G. y Villarroya Gil, F. (2009). Las aguas subterráneas un recurso natural del suelo. España. Grupo industrial de artes gráficas ibersaf industrial, s.l.
- Martínez Ruiz, R., Azpiroz Rivero, H., Rodríguez De la O J., Celtina Alcalá, V., y Gutiérrez Espinoza, M. (2006). Importancia de las plantaciones forestales de Eucalyptus. *Revista Ra Ximhai*. 2 (3), 815-846. <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rxm/article/view/6903>
- Matus, O., Faustino, J., y Jiménez, F. (2009). Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica. Aplicación práctica en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua. Turrialba, Costa Rica. CATIE.
- Mestas Valero, R.M. (2011). Régimen hídrico del suelo y evapotranspiración en áreas agrícolas y forestales [tesis de maestría, Universidad Da Coruña]. https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Paz-Gonzalez/publication/315072349_Regimen_hidrico_del_suelo_y_evapotranspiracion_en_areas_agricolas_y_forestales_Soil_water_regime_and_evapotranspiration_of_agricultural_and_forestry_areas/links/58c971f192851c4b5e6c91cc/Regimen-hidrico-del-suelo-y-evapotranspiracion-en-areas-agricolas-y-forestales-Soil-water-regime-and-evapotranspiration-of-agricultural-and-forestry-areas.pdf
- Porta Casanellas, J., López-Acevedo Reguerín, M., y Roquero de Laburu, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Sánchez, F.J. (2017). Hidrología superficial y subterránea. Createspace independent pub.
- Solís, J. N. (1985). Fundamentos de edafología. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Somarriba Chang, M. (1989). Planificación conservacionista de la finca el plantel [Tesis de grado, instituto superior de ciencias agropecuarias]. <https://repositorio.una.edu.ni/2586/>

- Schosinsky, G. (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance Hídrico de suelos. *Revista geológica de América central*. 14-30. DOI [10.15517/RGAC.V0I34-35.4223](https://doi.org/10.15517/RGAC.V0I34-35.4223)
- Tartabull Puñales, T. y Betancourt Aguillan, C. (2016). La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. *Revista científica agroecosistema*. 4 (1), 47-61. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/75/0>
- United States Department of Agriculture (USDA, 1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf
- US Salinity Laboratory Staff. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Department of Agriculture Handbook 60, Washington, DC.
- Vélez Otálvaro, M. y Vásquez Ariza, L. (2019). Métodos para determinar la recarga en acuíferos. Universidad Nacional- Medellín.
- Werner, J. (1996). Introducción a la Hidrogeología. Linares, Nuevo León. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Zapata Sierra, A., y Manzano Agugliaro, F. (2008). Influencia en seis especies arbóreas en la infiltración de agua en el suelo. *Agrociencia*, 47(7), 835-845. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v42n7/v42n7a10.pdf>
- Zelaya Martínez C.R. (1990). Los suelos y sus aptitudes agrícolas de la finca el plantel. [Tesis de grado, instituto superior de ciencias agropecuarias]. <https://repositorio.una.edu.ni/2647/>
- Zúñiga Fuentes, M. S. (2013). Consumo de agua por la planta de siete especies frutales producidas en Chile [tesis de grado, Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/148777>

IX. ANEXOS

Anexo 1. Formato para la clasificación de suelos en campo

Proyecto:		Fecha:		Autores:			Calicata No.			
Localización: UTM:		Clasificación taxonómica: 1- 2-		Clase de capacidad: 1- 2-			Drenaje:			
Posición:		Forma del terreno:		Profundidad del manto freático:			Vegetación y uso de la tierra:			
Profundidad (cm)	Horizontes	Est. de humedad	Color		textura	estructura	Consistencia	Poros	raíces	Act. de fauna
			Seco	húmedo						Limite
										Gravas

Fuente: Mendoza, R. y Espinoza, A. (2017).

Anexo 2. Hoja de cálculo de infiltración

Infiltración					
No. Rep.	1er. Pulgada de agua				
	Tiempo de inicio	Tiempo final	Minutos	Segundos	1er. Infiltración Pulg/hr
1					
2					
3					
4					
5					

Fuente: USDA (1999).

Anexo 3. Radiación solar extraterrestre en mm/día

Latitud	Norte	12	11	10
	Enero	30.90	31.40	31.90
	Febrero	33.80	34.15	34.50
	Marzo	36.50	36.70	36.90
	Abril	38.00	37.95	37.90
	Mayo	38.00	37.80	37.60
	Junio	37.60	37.30	37.00
	Julio	37.60	37.35	37.10
	Agosto	37.80	37.65	37.50
	Septiembre	36.90	37.00	37.10
	Octubre	34.50	34.80	35.10
	Noviembre	31.50	31.95	32.40
	Diciembre	30.00	30.50	31.00
MJulio/m ² /día, para pasar a mm./día (de agua evaporada) multiplicar por 0,408				
RO para 11° de Lat. N en MJulio/m ² /día				

Fuente: Allen et al (1988).

Anexo 4. Hoja de cálculo BHS en pastos con suelos de textura arcilloso

BALANCE HIDRICO DE SUELO														
Zona de estudio		El Plantel												
Fecha		feb-21												
Textura del suelo		Arcilloso												
Fc (mm/día)		226			%	mm								
Kp		0.10	cuadro 1	CC	37.96	237	Ecuación 8 y 9							
Kv		0.18	cuadro 1	PMP	20.52	128	Ecuación 8 y 9							
Kfc		0.69	Ec.2	CC-PMP	17.44	109				Datos de precipitación :	Estación: Guanacastillo (Nindiri)			
C		0.970	Ec.3							Periodo:	2008-2020			
DA(gr/m ³)		1.25												
Prof radicular(mm)		500												
Hsi(mm)	Valor CC al iniciar		237											
Coeficiente de retención(Cfo)	Bosque		0.20											
	Otra cobertura		0.12											
Mes de inicio	septiembre													
Variables	Ecuación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P (mm)		9	12	5	15	99	150	115	143	201	224	46	8	1026
Ret(mm)	Ec.1	5	5	5	5	12	18	14	17	24	27	5	5	142
C	Ec.3	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	
Pi(mm)	Ec.4	4	7	0	9	84	128	98	122	172	191	39	3	857
Esc(mm)	Ec.5	0	0	0	0	3	4	3	4	5	6	1	0	27
ETP(mm)	Ec.7	161	162	200	203	195	168	174	177	165	156	153	152	2065
HSi(mm)	Ec.16	158	162	168	168	177	164	208	185	237	237	237	200	
C1	Ec.10	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
C2	Ec.11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
ETPR(mm)	Ec.12	0	0	0	0	97	84	122	89	165	156	76	46	835
HD(mm)	Ec.13	34	40	40	49	133	164	178	179	281	300	148	75	
ETR(mm)	Ec.14	0	0	0	0	97	84	122	89	165	156	76	46	835
HF _s (mm)	Ec.15	162	168	168	177	164	208	185	218	237	237	200	158	
Rp(mm)	Ec.17	0	0	0	0	0	0	0	0	7	35	0	0	41.16
DCC(mm)	Ec.18	75	69	69	60	73	29	52	19	0	0	37	80	
NR(mm)	Ec.19	236	231	269	263	170	113	105	107	0	0	114	186	
volumen de agua recarga en m3 anuales														
	Área (Km²)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Totales
	0.203368	0	0	0	0	0	0	0	0	1352	7019	0	0	8371

Anexo 6. Hoja de cálculo BHS en cultivos anuales con suelos de textura arcillosa

BALANCE HIDRICO DE SUELO														
Zona de estudio		El Plantel												
Fecha														
Textura del suelo		Arcilloso												
Fc (mm/día)		331			%	mm								
Kp		0.10 cuadro 1	CC	37.96	142	Ecuación 8 y 9				Datos de precipitación :	Estación: Guanacastillo (Nindiri)			
Kv		0.10 cuadro 1	PMP	20.52	77	Ecuación 8 y 9				Período:	2008-2020			
Kfc		0.78 Ec.2	CC-PMP	17.44	65.40									
C		1 Ec.3												
DA(gr/m ³)		1.25												
Prof radicular(mm)		300												
Hsi(mm)	Valor CC al iniciar		142											
Coeficiente de retención(Cfo)	Bosque		0.20											
	Otra cobertura		0.12											
Mes de inicio	septiembre													
Variables	Ecuación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P (mm)		9	12	5	15	99	150	115	143	201	224	46	8	1026
Ret(mm)	Ec.1	5	5	5	5	12	18	14	17	24	27	5	5	142
C	Ec.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Pi(mm)	Ec.4	4	7	0	10	87	132	101	126	177	197	40	3	884
Esc(mm)	Ec.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETP(mm)	Ec.7	161	162	200	203	195	168	174	177	165	156	153	152	2065
HSi(mm)	Ec.16	77	81	88	88	98	87	135	114	142	142	142	106	
C1	Ec.10	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
C2	Ec.11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
ETPR(mm)	Ec.12	0	0	0	0	97	84	122	89	165	156	76	46	835
HD(mm)	Ec.13	4	11	11	21	107	142	159	163	243	262	106	33	
ETR(mm)	Ec.14	0	0	0	0	97	84	122	89	165	156	76	33	822
HF _s (mm)	Ec.15	81	88	88	98	87	135	114	142	142	142	106	77	
Rp(mm)	Ec.17	0	0	0	0	0	0	0	9	12	40	0	0	61.89
DCC(mm)	Ec.18	61	54	54	45	55	7	28	0	0	0	36	65	
NR(mm)	Ec.19	222	216	255	248	153	91	80	89	0	0	112	185	
volumen de agua recarga														
	Área (Km ²)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Totales
	0.14417291	0	0	0	0	0	0	0	1364	1728	5830	0	0	8922

Anexo 7. Hoja de cálculo BHS en cultivos permanentes con suelos de textura arcillosa

BALANCE HIDRICO DE SUELO														
Zona de estudio		El Plantel												
Fecha														
Textura del suelo		Arcilloso												
Fc (mm/día)		436			%	mm								
Kp		0.10 cuadro 1	CC	37.96	237	Ecuación 8 y 9			Datos de precipitación :		Estación: Guanacastillo (Nindiri)			
Kv		0.10 cuadro 1	PMP	20.52	128	Ecuación 8 y 9			Periodo:	2008-2020				
Kfc		0.10 Ec.2	CC-PMP	17.44	109									
C		1.03 Ec.3												
DA(gr/m ³)		1.25												
Prof radicular(mm)		500												
Hsi(mm)	Valor CC al iniciar		237											
Coefficiente de retención(Cfo)	Bosque		0.20											
	Otra cobertura		0.12											
Mes de inicio	septiembre													
Variables	Ecuación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P (mm)		9	12	5	15	99	150	115	143	201	224	46	8	1026
Ret(mm)	Ec.1	5	5	5	5	12	18	14	17	24	27	5	5	142
C	Ec.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Pi(mm)	Ec.4	4	7	0	10	87	132	101	126	177	197	40	3	884
Esc(mm)	Ec.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETP(mm)	Ec.7	161	162	200	203	195	168	174	177	165	156	153	152	2065
HSi(mm)	Ec.16	159	163	170	170	179	169	217	196	237	237	237	201	
C1	Ec.10	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
C2	Ec.11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
ETPR(mm)	Ec.12	0	0	0	0	97	84	122	89	165	156	76	46	835
HD(mm)	Ec.13	35	42	42	51	138	172	190	194	286	306	149	76	
ETR(mm)	Ec.14	0	0	0	0	97	84	122	89	165	156	76	46	835
HFs(mm)	Ec.15	163	170	170	179	169	217	196	234	237	237	201	159	
Rp(mm)	Ec.17	0	0	0	0	0	0	0	0	12	40	0	0	52.42
DCC(mm)	Ec.18	74	67	67	58	68	20	41	4	0	0	36	78	
NR(mm)	Ec.19	235	229	268	261	166	104	93	92	0	0	112	185	
volumen de agua recarga														
	Área (Km ²)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Totales
	0.09140798	0	0	0	0	0	0	0	0	1096	3696	0	0	4792

Anexo 8. Hoja de cálculo BHS en bosque latifoliado ralo en suelos de textura arcillosa

BALANCE HIDRICO DE SUELO														
Zona de estudio		El Plantel												
Fecha														
Textura del suelo		Arcilloso												
Fc (mm/día)		717			%	mm								
Kp		0.10 cuadro 1	CC	37.96	569	Ecuación 8 y 9								
Kv		0.20 cuadro 1	PMP	20.52	308	Ecuación 8 y 9				Datos de precipitación :	Estación: Guanacastillo (Nindiri)			
Kfc		0.92 Ec.2	CC-PMP	17.44	262					Período:	2008-2020			
C		1.22 Ec.3												
DA(gr/m ³)		1.25												
Prof radicular(mm)		1200												
Hsi(mm)	Valor CC al iniciar		569											
Coeficiente de retención(Cfo)	Bosque		0.20											
	Otra cobertura		0.12											
Mes de inicio	septiembre													
Variables	Ecuación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P (mm)		9	12	5	15	99	150	115	143	201	224	46	8	1026
Ret(mm)	Ec.1	5	5	5	5	20	30	23	29	40	45	9	5	220
C	Ec.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Pi(mm)	Ec.4	4	7	0	10	79	120	92	114	161	179	37	3	806
Esc(mm)	Ec.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETP(mm)	Ec.7	160.76	161.84	200.30	202.78	194.81	167.52	173.99	177.05	165.33	156.25	152.59	151.85	2065
HSi(mm)	Ec.16	487	492	499	498	508	489	525	496	569	569	569	530	
C1	Ec.10	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
C2	Ec.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
ETPR(mm)	Ec.12	0	0	0	0	97	84	122	89	83	156	76	46	752.24
HD(mm)	Ec.13	184	191	191	200	279	301	310	302	423	440	298	225	
ETR(mm)	Ec.14	0	0	0	0	97	84	122	89	83	156	76	46	752
HF _s (mm)	Ec.15	492	499	498	508	489	525	496	522	569	569	530	487	
Rp(mm)	Ec.17	0	0	0	0	0	0	0	0	79	23	0	0	101.09
DCC(mm)	Ec.18	78	71	71	61	80	44	74	48	0	0	40	82	
NR(mm)	Ec.19	238	233	271	264	177	128	126	136	83	0	116	188	
volumen de agua recarga m3														
	Área (Km ²)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Totales
	0.518	0	0	0	0	0	0	0	0	40679	11683	0	0	52363

Anexo 9. Hoja de cálculo BHS en plantación de eucalipto con suelo de textura arcillosa

BALANCE HIDRICO DE SUELO														
Zona de estudio		El Plantel												
Fecha														
Textura del suelo		Arcilloso												
Fc (mm/día)		506			%	mm								
Kp		0.10	cuadro 1	CC	37.96	569	Ecuación 8 y 9			Datos de precipitación :		Estación: Guanacastillo (Nindiri)		
Kv		0.2	cuadro 1	PMP	20.52	308	Ecuación 8 y 9			Período:	2008-2020			
Kfc		1	Ec.2	CC-PMP	17.44	262								
C		1.30	Ec.3											
DA(gr/m ³)		1.25												
Prof radicular(mm)		1200												
Hsi(mm)	Valor CC al iniciar		569											
Coeficiente de retención(Cfo)	Bosque		0.20											
	Otra cobertura		0.12											
Mes de inicio	septiembre													
Variables	Ecuación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P (mm)		9	12	5	15	99	150	115	143	201	224	46	8	1026
Ret(mm)	Ec.1	5	5	5	5	20	30	23	29	40	45	9	5	220
C	Ec.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Pi(mm)	Ec.4	4	7	0	10	79	120	92	114	161	179	37	3	806
Esc(mm)	Ec.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETP(mm)	Ec.7	161	162	200	203	195	168	174	177	165	156	153	152	2065
HSi(mm)	Ec.16	487	492	499	498	508	489	525	496	569	569	569	530	
C1	Ec.10	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
C2	Ec.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
ETPR(mm)	Ec.12	0	0	0	0	97	84	122	89	83	156	76	46	752
HD(mm)	Ec.13	184	191	191	200	279	301	310	302	423	440	298	225	
ETR(mm)	Ec.14	0	0	0	0	97	84	122	89	83	156	76	46	752
HF(mm)	Ec.15	492	499	498	508	489	525	496	522	569	569	530	487	
Rp(mm)	Ec.17	0	0	0	0	0	0	0	0	79	23	0	0	101.09
DCC(mm)	Ec.18	78	71	71	61	80	44	74	48	0	0	40	82	
NR(mm)	Ec.19	238	233	271	264	177	128	126	136	83	0	116	188	
volumen de agua recarga														
	Área (Km²)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Totales
	0.19696952	0	0	0	0	0	0	0	0	15468	4443	0	0	19911

Anexo 10. Volumen de agua extraído para riego por tipo de sistema y diferentes cultivos establecidos

Cultivos	Área(Km ²)	Tipo de sistema de riego	Extracción mensual en m ³												Anual
			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Mango	0.0149	goteo	61.44	61.44	61.44	61.44	61.44	30.72	30.72	30.72	-	-	61.44	61.44	522.24
Aguacate	0.0149	goteo	61.44	61.44	61.44	61.44	61.44	30.72	30.72	30.72	-	-	61.44	61.44	522.24
Coco	0.0051	goteo	2.594	2.594	2.594	2.594	2.594	1297	1297	1297	-	-	2.594	2.594	3909.158
Nispero	0.0054	goteo	1.568	1.568	1.568	1.568	1.568	784	784	784	-	-	1.568	1.568	2362.976
Guayaba	0.0016	goteo	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96	1.48	1.48	-	-	-	2.96	2.96	23.68
Plátano	0.0003	Aspersión	1739.63	1739.63	1739.63	1739.63	1739.63	1739.63	869.815	869.815	-	-	1739.63	1739.63	15656.67
Guayaba y coco	0.0070	goteo	130.56	130.56	130.56	130.56	130.56	130.56	65.28	65.28	-	-	130.56	130.56	1175.04
Cultivos anuales: maíz, sorgo, frijol	0.2048	Aspersión	2.079	2.079	2.079	2.772	2.772	2.772	-	-	-	-	2.079	2.079	18.711
Yuca y quequisque	0.0211	Miniaspersión	27.252	27.252	27.252	27.252	27.252	-	-	-	-	-	27.252	27.252	190.764
Pipián	0.0070	Miniaspersión	2.879	2.879	2.879	2.879	2.879	-	-	-	-	-	-	-	14.395
Pasto	0.2177	Cañón	9680.95	9680.95	9680.95	9680.95	-	-	4840.475	4840.475	-	-	-	-	48404.75

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11 Normas para la interpretación de calidad de agua para riego

Potential Irrigation Problem		Units	Degree of Restriction on Use		
			None	Slight to Moderate	Severe
<u>Salinity (affects crop water availability)</u>					
	EC_w	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
	(or)				
	TDS	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000
Specific Ion Toxicity (<i>affects sensitive crops</i>)					
	<u>Sodium (Na)⁴</u>				
	surface irrigation	SAR	< 3	3 – 9	> 9
	sprinkler irrigation	me/l	< 3	> 3	
	<u>Chloride (Cl)⁴</u>				
	surface irrigation	me/l	< 4	4 – 10	> 10
	sprinkler irrigation	me/l	< 3	> 3	
	<u>Boron (B)⁵</u>	mg/l	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
	Trace Elements (see Table 21)				
Miscellaneous Effects (<i>affects susceptible crops</i>)					
	<u>Nitrogen (NO₃ - N)⁶</u>	mg/l	< 5	5 – 30	> 30
	Bicarbonate (HCO₃)				
	(<i>overhead sprinkling only</i>)	me/l	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
	pH		Normal Range 6.5 – 8.4		

Fuente: FAO (1985).

Anexo 12. Determinaciones de laboratorio necesarias para evaluar problemas comunes en la calidad de agua para riego

LABORATORY DETERMINATIONS NEEDED TO EVALUATE COMMON IRRIGATION WATER QUALITY PROBLEMS				
Water parameter	Symbol	Unit¹	Usual range in irrigation water	
SALINITY				
<u>Salt Content</u>				
Electrical Conductivity	EC _w	dS/m	0 – 3	dS/m
(or)				
Total Dissolved Solids	TDS	mg/l	0 – 2000	mg/l
<u>Cations and Anions</u>				
Calcium	Ca ⁺⁺	me/l	0 – 20	me/l
Magnesium	Mg ⁺⁺	me/l	0 – 5	me/l
Sodium	Na ⁺	me/l	0 – 40	me/l
Carbonate	CO ⁻ ₃	me/l	0 – 1	me/l
Bicarbonate	HCO ⁻ ₃	me/l	0 – 10	me/l
Chloride	Cl ⁻	me/l	0 – 30	me/l
Sulphate	SO ⁻ ₄	me/l	0 – 20	me/l
NUTRIENTS²				
Nitrate-Nitrogen	NO ₃ -N	mg/l	0 – 10	mg/l
Ammonium-Nitrogen	NH ₄ -N	mg/l	0 – 5	mg/l
Phosphate-Phosphorus	PO ₄ -P	mg/l	0 – 2	mg/l
Potassium	K ⁺	mg/l	0 – 2	mg/l
MISCELLANEOUS				
Boron	B	mg/l	0 – 2	mg/l
Acid/Basicity	pH	1–14	6.0 – 8.5	
Sodium Adsorption Ratio ³	SAR	(me/l) ^{1, 2}	0 – 15	

Fuente: FAO (1985).