

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Relación del riego goteo y gravedad en producción de caña de
azúcar (*Saccharum officinaru* L) – Distrito de Nepeña – Áncash
2025**

Tesis
para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrícola

Autor: Br. López Salinas, Emerson Miguel

Tumbes, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Relación del riego goteo y gravedad en producción de caña de
azúcar (*Saccharum officinaru* L) – Distrito de Nepeña – Áncash
2025**

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Carrillo Sarango, José Modesto (presidente)

iD 0000-0003-0841-3064

Ing. Atoche Ortiz, Deciderio (secretario)

iD 0000-0002-3300-330X

Dr. Puño Lecarnaque, Napoleón (vocal)

iD 0000-0002-5008-8085

Tumbes, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Relación del riego goteo y gravedad en producción de caña de
azúcar (*Saccharum officinarum* L) – Distrito de Nepeña – Áncash
2025**

**Los suscritos declaramos la tesis es original en su contenido y
forma**

Br. Emerson Miguel López Salinas (autor)

Dr. Napoleón Puño Lecarnaqué (asesor)

iD 0000-0002-5008-8085

Tumbes, 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
EX FUNDO FISCAL LA CRUZ-CAMPUS UNIVERSITARIO
SECRETARIA ACADÉMICA



ANEXO VIII

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS
MODO PRESENCIAL

En Tumbes, a los ocho días, del mes de setiembre del año dos mil veinticinco; siendo las doce horas con cinco minutos, en el Campus Universitario, de la Facultad de Ciencias Agrarias, en el ambiente del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto, de forma presencial, se reunieron el Jurado calificador, designado con Resolución N°09-2025/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D, de fecha 17 de enero del año 2025, conformada por Dr. José Modesto Carrillo Sarango (Presidente), Ing. Deciderio Atoche Ortiz (Secretario), Dr. Napoleón Puño Lecarnaqué (Vocal) y Mg. Félix Antonio Alcoser Torres (Asesor), reconociendo en la misma resolución al Dr. Napoleón Puño Lecarnaqué como Asesor, se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación del Informe Final de la Tesis "Relación del riego goteo y gravedad en producción de caña de azúcar (Saccharum officinarum L) - Distrito de Napaña - Ancash 2025", para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, presentado por la Bach. LÓPEZ SALINAS EMERSON MIGUEL, APROBADO por Unanimitad con el calificativo SANESEKENTE.

Se hace conocer al sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica.

En consecuencia, queda EXPEDITO para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del título profesional de Ingeniero Agrícola, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N°30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las doce horas, con cinco minutos, del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, 09 de setiembre del año 2025

DR. JOSÉ MODESTO CARRILLO SARANGO DNI N° <u>80223250</u> CODIGO ORCID <u>0000-0003-0841-3064</u> Presidente	ING. DECIDERIO ATOCHE ORTIZ DNI N° <u>88751393</u> CODIGO ORCID <u>0000-0001-3307-1118</u> Secretario
DR. NAPOLEÓN PUÑO LECARNAQUE DNI N° <u>60225904</u> CODIGO ORCID <u>0000-0002-5008-8085</u> Vocal	MG. FÉLIX ANTONIO ALCOSER TORRES DNI N° <u>02710269</u> CODIGO ORCID <u>0000-0001-9924-4362</u> Asesor

C.C. - JURADOS (03) - ASESOR Y (02)-INTERESADO-ARCHIVO (Decreto)
S. Acad.

RESUMEN DE ORIGINALIDAD DE TURNITIN

Relación del riego goteo y gravedad en producción de caña de azúcar (*Saccharum officinaru* L) – Distrito de Nepeña – Áncash 2025

por Emerson Miguel López Salinas

Fecha de entrega: 05-ago-2025 08:17a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2725627034

Nombre del archivo: Tesis_Emers_n_L_pez_Salinas,_Emerson_Miguel_2.docx (832.43K)

Total de palabras: 12169

Total de caracteres: 59407


Dr. Napoleón Puño Lecarnaque
CÓDIGO ORCID: 0000-0002-5008-8085

Relación del riego goteo y gravedad en producción de caña de azúcar (Saccharum officinaru L) – Distrito de Nepeña – Áncash 2025


INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	11%	3%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	vdocuments.es Fuente de Internet	2%
2	biblioteca.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	Vilca Ticona, Jose Luis. "Huella hídrica de cultivos andinos de la región Puno comercializados en la región Arequipa.", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	1%
4	baixardoc.com Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	1%
6	scholarspace.manoa.hawaii.edu Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universitat Politècnica de València Trabajo del estudiante	<1%
8	www.clubensayos.com Fuente de Internet	<1%
9	eeaoc.org.ar Fuente de Internet	<1%

questiondigital.com


Dr. Napoleón Puño Lecarnaque
CÓDIGO ORCID: 0000-0002-5008-8085

10	Fuente de Internet	<1 %
11	dokumen.tips Fuente de Internet	<1 %
12	econpapers.repec.org Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	<1 %
14	www.biospace.es Fuente de Internet	<1 %
15	www.smv.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
16	vdocuments.net Fuente de Internet	<1 %
17	www.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	William Senior, Mairin Lemus, Nieves González, Manuel Rey-Méndez, Cesar Lodeiros. "VII FORO IBEROAMERICANO DE LOS RECURSOS MARINOS Y LA ACUICULTURA", Open Science Framework, 2016 Publicación	<1 %
19	www.hospitalloayza.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
20	GARCIA RODRIGUEZ JEANETTE GISELA. "Informe de Gestión Ambiental del Proyecto Mejoramiento del Servicio de Agua del Sistema de Riego Quisuarate en Beneficio del Anexo de Santa Rosa-IGA0014735", R.D.G. N° 232-2015-MINAGRI-DVDIAR-DGAAA , 2021 Publicación	<1 %


Dr. Napoleón Puño Lecarnaque
CÓDIGO ORCID: 0000-0002-5008-8085

21	mafiadoc.com Fuente de Internet	<1 %
22	www.piuranoticias.com Fuente de Internet	<1 %
23	www.omicsonline.org Fuente de Internet	<1 %
24	nautilo.iib.unam.mx Fuente de Internet	<1 %
25	www.netafim.com Fuente de Internet	<1 %
26	minutodigitalperu.com Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
28	www.tssfcameroonhealth.de Fuente de Internet	<1 %
29	horizon.documentation.ird.fr Fuente de Internet	<1 %
30	http://200.13.202.26/proyectos/pdf/971763285res.pdf Fuente de Internet	<1 %
31	www.agro.uba.ar Fuente de Internet	<1 %
32	Submitted to ucb Trabajo del estudiante	<1 %
33	Isidro Elias Suárez Padrón, José Alberto Salgado Chávez, Amir David Vergara Carvajal, Teobaldis Mercado Fernández et al. "Memorias del primer Simposio Nacional de Ciencias Agronómicas", Temas Agrarios, 2019 Publicación	<1 %

Submitted to Universidad EAFIT


Dr. Napoleón Puño Lecarnaque
CÓDIGO ORCID: 0000-0002-5008-8085

34	Trabajo del estudiante	<1 %
35	mktco.pt Fuente de Internet	<1 %
36	www.uca.edu.sv Fuente de Internet	<1 %
37	ASESORES TECNICOS ASOCIADOS S.A.. "EIA-D del Proyecto Construcción de la Represa Santiago de Chuquimarán - Pampas Galeras-IGA0020186", R.D.G. N° 044-14-MINAGRI-DGAAA, 2022 Publicación	<1 %
38	ilustrados.com Fuente de Internet	<1 %
39	www.palmira.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas Apagado Excluir coincidencias < 15 words
 Excluir bibliografía Apagado


 Dr. Napoleón Puño Lecarnaque
 CÓDIGO ORCID: 0000-0002-5008-8085

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi abuela, quien me crió y me inculcó valores fundamentales; a mi madre, por darme la vida; a mis hermanos, con quienes compartí etapas de crecimiento; a mi tío, por sus consejos; y a mis amigos, por los momentos compartidos. Todos ellos han influido, en mayor o menor medida, en mi formación personal y académica.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios, por permitirme despertar con bienestar en las mañanas y siempre estar para mí y así poder lograr poco a poco cada uno de mis objetivos a base de esfuerzo y sacrificio.

Agradezco al Dr. Napoleón Puño Lecarnaque, mi asesor por su apoyo y predisposición para desarrollar esta investigación, a las personas que han visto cualidades y capacidades en mí y han confiado en ellas, lo cual me ha permitido seguir formándome profesionalmente.

ÍNDICE

RESUMEN.....	18
1. INTRODUCCIÓN.....	20
2. REVISIÓN DE LITERATURA	24
2.1. Antecedentes	24
2.2. Marco teórico.....	28
3. METODOLOGÍA.....	40
3.1. Ubicación	40
3.2. Materiales y métodos	41
3.3. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	41
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
4.1. Resultados	43
4.1.1. Determinación de las láminas de riego para los sistemas de riego por goteo gravedad en la zona de estudio en base a modelos agroclimatológicos.....	43
4.1.2. Cuantificar los volúmenes de agua aplicados en los últimos 3 años a tres lotes de caña de azúcar en el distrito de Nepeña; por riego, por goteo y gravedad.....	55
4.1.3. Cuantificación de los volúmenes de producción de caña de azúcar en los últimos 3 años de tres lotes del distrito de Nepeña.....	59
4.1.4. Relación entre los volúmenes de agua aplicados por Goteo y Gravedad con la producción por hectárea de caña de azúcar en el distrito de Nepeña en los últimos 3 años,	62
4.2. Discusiones	66
5. CONCLUSIONES.....	68
6. RECOMENDACIONES.....	69
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	70
ANEXOS	73
CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Distribución de la producción mundial de caña de azúcar en hectáreas para el año 1997 – 2001	29
Tabla 2: Rendimiento promedio de caña de azúcar en Centro América y el Caribe 2001	29
Tabla 3: Capacidad máxima de almacenar agua útil del suelo.....	32
Tabla 4: Coeficiente de corrección f en la fórmula de cálculo de ETP	36
Tabla 5: La Radiación extraterrestre (R_a) expresada en equivalente de evaporación (mm/día) para el hemisferio sur	37
Tabla 6: Duración máxima diaria medida de las horas de fuente insolación (N) en diferentes meses y latitudes	37
Tabla 7: Valor de K_c para diferentes cultivos según el clima y su fase de crecimiento	39
Tabla 8: Lista de cotejo.....	42
Tabla 9: La radiación extraterrestre (R_a) expresado en equivalente de evaporación (mm/día) – hemisferio sur	44
Tabla 10: Horas de insolación fuerte promedio del lugar (Nepeña).....	44
Tabla 11: Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación (N) en diferentes meses y latitudes sur	44
Tabla 12: Temperatura Media (TM) mensual – Estación Meteorológica “Juan Díaz” – Nepeña	45
Tabla 13: Promedio de ETP entre los modelos de Thornthwaite y Hargreaves en cm/mes	49
Tabla 14: Lámina de riego bruta (LB) por un sistema de riego por goteo – zona de estudio – Nepeña – cultivo de caña de azúcar	52
Tabla 15: Lámina de riego bruta (LB) por un sistema de riego por gravedad y por surco – zona de estudio – Nepeña – Cultivo de caña de azúcar	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación del Sector San Jacinto	40
Figura 2: Variación mensual de la ETP con los métodos de Thornthwaite y Hargreaves y el Promedio de ellos en cm/mes	50
Figura 3: Lámina de riego promedio mensual en la zona de estudio (Nepeña) – Riego por goteo.....	53
Figura 4: Lámina de riego promedio mensual en la zona de estudio (Nepeña) – Riego por Gravedad Surco.....	54

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Fundo Palenque Goteo – Lote 010 – volúmenes de agua aplicados en m ³ /Ha por campaña.....	56
Cuadro 2: Fundo Palenque Goteo – Lote 020 – volúmenes de agua aplicados en m ³ /Ha por Campaña.....	56
Cuadro 3: Fundo Palenque Goteo – Lote 030 – volúmenes de agua aplicados en m ³ /Ha por Campaña.....	56
Cuadro 4: Promedio de volumen de agua aplicado al Fundo Palenque – Riego por Goteo en m ³ /Ha por Campaña	57
Cuadro 5: Fundo Palenque Gravedad Surcos – Lote 010 – volúmenes de agua aplicados en m ³ /Ha por Campaña.....	58
Cuadro 6: Fundo Palenque Gravedad Surcos – Lote 020 – volúmenes de agua aplicados en m ³ /Ha por Campaña.....	58
Cuadro 7: Fundo Palenque Gravedad Surcos – Lote 060 – volúmenes de agua aplicados en m ³ /Ha por Campaña.....	58
Cuadro 8: Promedio de Volumen de agua aplicado al Fundo Palenque – Riego por Gravedad Surcos en m ³ /Ha por Campaña	58
Cuadro 9: Fundo Palenque Goteo – lote 010 – Producción de caña de azúcar en los últimos 3 años de tres lotes del distrito de Nepeña – Tn/Ha por campaña	59
Cuadro 10: Fundo Palenque Goteo – lote 020 – Producción de caña de azúcar en los últimos 3 años de tres lotes del distrito de Nepeña – Tn/Ha por campaña	60
Cuadro 11: Fundo Palenque Goteo – lote 030 – Producción de caña de azúcar en los últimos 3 años de tres lotes del distrito de Nepeña – Tn/Ha por campaña	60
Cuadro 12: Promedio de Producción de caña, en fundo Palenque – Riego por Goteo en Tn/Ha por campaña.....	60
Cuadro 13: Fundo Palenque Gravedad Surcos – lote 010 – Producción de caña de azúcar en los últimos 3 años de tres lotes del distrito de Nepeña – Tn/Ha por campaña	61

Cuadro 14: Fundo Palenque Gravedad Surcos – lote 020 – Producción de caña de azúcar en los últimos 3 años de tres lotes del distrito de Nepeña – Tn/Ha por campaña	61
Cuadro 15: Fundo Palenque Gravedad Surcos – lote 060 – Producción de caña de azúcar en los últimos 3 años de tres lotes del distrito de Nepeña – Tn/Ha por campaña	62
Cuadro 16: Promedio de Producción de caña, en fundo Palenque – Riego por Gravedad surcos en Tn/Ha por campaña	62
Cuadro 17: Cantidad de agua en promedio aplicado por un sistema de riego por Goteo en m ³ /Ha y las producciones en promedio de caña de azúcar en Tn/Ha por campaña	63
Cuadro 18: Cantidad de agua en promedio aplicado por un sistema de riego por Gravedad – surcos en m ³ /Ha y las producciones en promedio de caña de azúcar en Tn/Ha por campaña	64
Cuadro 19: Volúmenes de agua aplicados y producción de caña de azúcar en el distrito de Nepeña en los últimos tres años.....	64
Cuadro 20: Calculo de "r" coeficiente de correlación lineal de Pearson.....	65

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Volúmenes de agua aplicados y producciones de caña de estudio en Fondo Palenque, por goteo y gravedad surco	74
Anexo 2: Variables meteorológicas en estación "Juan Díaz " (2024).....	75
Anexo 3: Variables meteorológicas en estación " Juan Díaz " (2023).....	75
Anexo 4: Riego por gravedad, surcos, cultivo de caña de azúcar en el Valle de Nepeña.....	76
Anexo 5: Riego por gravedad, surcos, cultivo de caña de azúcar en el Valle de Nepeña.....	76
Anexo 6: Riego a presión, goteo, cultivo de caña de azúcar en el Valle de Nepeña.....	77
Anexo 7: Riego a presión, goteo, cultivo de caña de azúcar en el Valle de Nepeña.....	77
Anexo 8: Cosecha de caña de azúcar	78
Anexo 9: Cosecha de caña de azúcar	78
Anexo 10: Cosecha de caña de azúcar	79
Anexo 11: Fotografía panorámica de campo	79

RESUMEN

La presente investigación "Relación del riego goteo y gravedad en producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) – Distrito de Nepeña – Ancash – 2025" tuvo como objetivo principal determinar la relación de los sistemas de riego por goteo y gravedad en la producción de caña de azúcar; utilizándose para ello, información de los últimos tres años de tres lotes de riego por goteo con suelo arenoso – franco; y riego por gravedad surco con suelo franco – arenoso en el fundo Palenque ubicado en el valle de Nepeña; se usó un diseño No Experimental – Transaccional Correlacional, a un nivel explicativo – causal e investigación de tipo aplicada. Con una eficiencia de aplicación del 90% en el riego por goteo se aplicó un promedio 13,434.23 m³/Ha de agua, y para un riego por gravedad – surcos con un 60% de eficiencia se aplicó un promedio de 17,631.16 m³/Ha; obteniendo producciones promedio de caña de azúcar de 151.18 Tn/Ha y 187.10 Tn/Ha respectivamente; y un coeficiente de correlación positivo de 0,01572 concluyéndose con una relación directa al aumentar una variable aumenta la otra.

Palabras clave: Evapotranspiración Potencial, Láminas brutas de riego, Riego en caña de Azúcar.

ABSTRACT

The present research "Relationship of drip and gravity irrigation in sugarcane production (*Saccharum officinarum* L.) - Nepeña District - Ancash - 2025" had as main objective to determine the relationship of drip and gravity irrigation systems in sugarcane production; Using for this purpose, information from the last three years of three drip irrigation plots with sandy - loam soil; and gravity furrow irrigation with sandy - loam soil in the Palenque farm located in the Nepeña Valley; A Non-Experimental - Transactional Correlational design was used, at an explanatory - causal level and applied research. With an application efficiency of 90% in drip irrigation, an average of 13,434.23 m³ / Ha of water was applied, and for gravity - furrow irrigation with 60% efficiency, an average of 17,631.16 m³ / Ha was applied; Average sugarcane yields were 151.18 tons/ha and 187.10 tons/ha, respectively, and a positive correlation coefficient of 0.01572. This indicates a direct relationship between the two variables.

Keywords: Potential Evapotranspiration, Gross Irrigation Depth, Sugarcane Irrigation.

1. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar es un cultivo importante en el Perú, especialmente en regiones como Piura, Lambayeque y La Libertad. Es utilizada principalmente para la producción de azúcar y alcohol, y ha jugado un papel significativo en la economía agrícola del país. El clima y las condiciones del suelo en estas regiones son ideales para el cultivo de la caña de azúcar, lo que permite una producción eficiente y de alta calidad.

Además de su importancia económica, la caña de azúcar también tiene un impacto social y cultural en el Perú. Muchas comunidades dependen de su cultivo y procesamiento para sus medios de vida. La producción de azúcar y productos derivados no solo proporciona empleo, sino que también fomenta el desarrollo de infraestructura y servicios en las áreas rurales.

El investigador Tejada en su investigación tejada (2013) sostiene:

Entre los problemas tecnológicos que limitan el nivel competitivo de la industria azucarera nacional están el uso de variedades que datan de la década de 1930, tales como H32-8560, H37-1933 y PCG 12-745, que ocupan más del 90% del área sembrada actualmente. Asimismo, las prácticas agrícolas que se utilizan en nuestro medio datan de la década del 70 y son aplicadas en forma ineficiente e inoportuna, y sin tomar en cuenta consideraciones de manejo integrado del cultivo ni buenas prácticas agrícolas, aspectos de suma importancia actual. Por otro lado, no se dispone de variedades adaptadas a condiciones de selva y su respectivo manejo técnico para la producción industrial de etanol.

La variedad más utilizada en San Jacinto es la PCG 12-745 (Azul Casagrande) en el 36.70% de la superficie, el problema de esta variedad es que florea mucho.

En el cultivo de caña de azúcar el agua es el compuesto más importante en el proceso fotosintético; el agua disponible se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitez. El riego en caña de azúcar debe considerar: la cantidad de agua que se debe utilizar para regar y la frecuencia

de riego; ambas dependen del estado de caña (fenología), del clima (temperatura) y del tipo de suelo. En forma general se aplican dos riegos por mes en el verano y un riego mensual en invierno.

El cultivo de caña de azúcar, se adapta a los dos sistemas de riego que se plantean en la presente investigación: riego por gravedad (riego de enseo después de la siembra, después de la fertilización y después de la aplicación de herbicidas pre emergentes, en volúmenes entre 1,000 a 800 m³/há; riego normal o de mantenimiento (1,000 a 3,000 m³/ha) son riegos que se dan a todo el campo durante el período de crecimiento y desarrollo; riego de agoste viene a ser el último riego que se le da a la caña. Es un riego ligero. También se tiene los riegos de pre-agoste que vienen a ser riegos ligeros poco frecuentes en donde se va disminuyendo la cantidad de agua; y, finalmente el riego de broza o pesado: son riegos pesados (más de 3,000 m³/há) inmediatamente después de la cosecha para estimular el brotamiento de la saca luego del periodo de agoste. Es el primer riego en soca. Se utiliza de 10,000 a 20,000 cosecha m³/há)-cosecha.

El riego por goteo en caña de azúcar también se puede instalar y es uno de los más eficientes que existe hasta el momento y en el Perú, en caña de azúcar recién está intensificándose su uso en Laredo con 3,000 hectáreas, en Andahuasi, San Jacinto y Paramonga en áreas menores.

La presente investigación es importante porque cada vez el agua como factor fundamental en todo sistema de producción, se viene escaseando en el planeta, sea por los efectos del cambio climático, con prolongadas sequías como la que está ocurriendo en el presente año 2024, en que los ríos han llegado extremos muy bajos en su historia, así como por niveles de contaminación principalmente de tipo minera de sanción metálica; y, finalmente el agua, principalmente en la costa del Perú, está siendo utilizada para el riego de cultivos con altos requerimientos de agua como son el arroz y la caña de azúcar y el uso de sistema de riego no tan eficientes como el riego por gravedad que dependiendo del tipo de riego puede alcanzar hasta 50% de eficiencia de aplicación.

Al igual el autor (Valverde, 2021) indica que:

El uso eficiente del agua se refiere a cualquier acción del hombre orientado hacia el uso mínimo del agua para cualquier actividad productiva que permite generar beneficios socioeconómicos sin afectar su conservación ni la del medio ambiente

La cantidad de agua utilizada, es aquella cantidad de agua cuyo valor va a depender de las necesidades hídricas de la actividad y de las características climáticas de la zona, de manera que, dependiendo del plan de producción, así va a ser la cantidad de agua a utilizar. En esta fase la participación del productor es fundamental o sea el manejo del agua depende directamente de él y de su tecnología utilizada.

La aplicación del agua al suelo se puede efectuar por medio de diferentes métodos, cuya aplicación va a depender de la disponibilidad de agua y de los costos (Valverde, 2021); y éstos pueden ser: riego por superficie o por gravedad (surcos rectos, surcos en contorno, melgas rectas, melgas en contorno); y riego presurizado (aspersión, microaspersión y goteo).

Los países más importantes en producción de caña de azúcar son: Brasil, India, Tailandia, China, Pakistán y México; responsables de los dos tercios de la producción mundial. Otros países en importancia de producción son Colombia, Australia, Indonesia, Laos, Filipinas, Myanmar, Estados Unidos, Costa Rica (<https://es.wikipedia.org/wiki/c>; 19.11.24).

En el Perú el mayor uso industrial de la caña de azúcar es para la producción de azúcar. De las hectáreas sembradas con caña corresponde al 65% a los 10 ingenios azucareros y el 35% a los sembradores particulares (MIDAGRI, 2008). En el primer semestre del 2023, la producción de caña de azúcar en el Perú, disminuyó en 2.1% respecto al mismo periodo del 2021. La industria azucarera se localiza en los departamentos de Piura, Lambayeque, La Libertad, Áncash y Lima. Las principales empresas de la industria azucarera son las del grupo Gloria, Paramonga Laredo, Pomalca y Tumán (<https://cdn.www.gob.pe>).

En Perú, el rendimiento promedio de caña de azúcar es de 140 toneladas por hectárea y año. Sin embargo, en algunos casos puede llegar a 300 toneladas por hectárea (<https://cdn.www.gob.pe>).

Agroindustrias San Jacinto produce azúcares y alcoholes destinados al mercado local y al mercado exterior, así como melaza y bagazo; todos ellos elaborados dentro del más alto estándar de calidad como lo prueba la posesión del certificado de calidad ISO 9001:2015; e ISO 45001:2018; así como cuenta con el sistema HACCP que involucra el cumplimiento de las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y los Programas de Higiene y Saneamiento (PHS) lo cual garantiza a sus clientes la inocuidad del producto (azúcar). San Jacinto cuenta con 11,389 Hás. – brutas, de las cuales 6,681 Hás. se encuentran en cultivo de caña de azúcar. Su capacidad de molienda diario es de 4,500 toneladas de caña; produce 40,000 litros de alcohol por día y puede operar 330 días del año. Contribuye a la economía de su zona de influencia a través de la generación de puestos de trabajo, el 90% de sus trabajadores son pobladores del distrito de Nepeña. Es la empresa más grande y principal contribuyente de dicho distrito. Agroindustria San Jacinto tiene sistemas de riego por gravedad y goteo.

En riegos por gravedad se tienen registros hasta de 15,816 m³/Há. y en el goteo hasta 11,638 m³/Há., con producción de caña de 131.80 T/Há., y 137.39 T/Há. respectivamente.

En la presente investigación se analizarán lotes de caña de azúcar irrigados por gravedad y goteo, y se verán los volúmenes de agua consumidos por campaña agrícola y/o año de producción y comparados con los niveles de producción obtenidos; asimismo, los volúmenes reales consumidos se compararán con los volúmenes de agua teóricos calculados con modelos de evapotranspiración haciendo uso de información agrometeorológica local, y los costos relacionados con el consumo de agua y su incidencia en el costo de producción de una hectárea de caña de azúcar; estos resultados serán extrapolados y tengan un alcance regional sobre todo en Costa del Perú; siendo por tanto, el objeto de estudio en la presente investigación el volumen de agua consumido en la producción de caña de azúcar.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

En el Presente proyecto citaremos diferentes investigaciones que nos permitirán ampliar nuestro conocimiento en la comunidad Científica de la Caña de azúcar.

Internacionales

Guanonopatin, M.B. (2015); en su trabajo de investigación “Lineamientos estratégicos para la terminación del Canon de aprovechamiento de agua de Nicaragua: el caso del cultivo de la caña de azúcar” concluyó,

Usando la propuesta de canon obtenida del estudio realizado para la Cuenca del Río Taicoles en Costa Rica, en el que se establece el valor económico del agua para uso agrícola de 0.0054 dólares/m³ (equivalente a 2.89 colones/m³), y después del proceso de negociaciones se aprobó un CAA diferenciado de 0.0035 dólares/m³ para aguas superficiales y de 0.046 dólares/m³ para aguas subterráneas. En el análisis econométrico se evidenció que el agua influye de manera positiva en la productividad del cultivo de caña de azúcar, la producción aumenta hasta 24 Tn/mz maximizando de esta forma los ingresos económicos de los productores. El consumo promedio de agua para el cultivo de caña de azúcar es de 19,249 m³/mz/año riego por gravedad y 11,031 m³/mz/año riego por tecnología (goteo y expansión).

González, F. et al (2020); en su trabajo de investigación “Comparación entre dos estrategias de riego en la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) – Cuba; indica:

que las condiciones actuales es necesario utilizar el agua en la agricultura de manera eficiente y que maximicen las producciones, es por ello que presente trabajo, tiene como objetivo estudiar la influencia de manera el manejo del riego en los rendimientos de la caña de azúcar planteada en suelos Ferralíticos Rojos, típicos. El estudio se realizó dentro del bloque experimental de la Estación Territorial de Investigación de la Caña de Azúcar, Municipio Quivicán, provincia Mayabeque, donde se comparó la gestión del riego a partir de la propuesta del servicio de riego y drenaje del INICA por fases fenológicas

para la caña planta con la “Hoja de Pronóstico” diseñada para la definición del momento de riego y la lámina a aplicar. El método de riego empleado fue aspersión con enrollador.

Como resultado se tiene que fue necesario aplicar 27 riegos con lámina neta total de 9,450 m³/Há. en caña planta. Al comparar el régimen de riego de explotación con el programado para la fase de gran crecimiento del cultivo se observa que según la programación se necesitarían 33 riegos con una lámina total de 1000.3 mm para mantenerse en el suelo un nivel de humedad adecuado para el buen desarrollo del cultivo. El régimen de riego propuesto por el servicio de riego y drenaje sobreestima las necesidades en la fase de ahijamiento en un 29.5% mientras que en la fase de gran período donde se producen procesos fisiológicos que inciden en los tratamientos existe un déficit de 144.7 mm.

Tapia L.M. et al (2004); en su investigación “El fertiriego por goteo en caña de azúcar: tecnología para aumentar el rendimiento y eficientar el uso del agua y los fertilizantes”; concluyó que:

considerando las condiciones de suelo y de cultivo prevaletentes en la Región de Taretan - Nuevo Urecho, Mich. y con surco de 1.20 m de ancho, el volumen de agua inicial (V_i) a aplicarse por hectárea, tomando en cuenta el número de línea de riego (N_s), se obtiene con la siguiente expresión:

$$V_i = L \times Ar \times HA \times N_s$$

Donde:

L= Longitud de surco (100m)

Ar= Ancho del bulbo mojado (0.30 m)

HA= Humedad aprovechable del suelo (0.049 m)

Ns= Número de líneas en una hectárea (42)

Sustituyendo los datos en la fórmula se obtiene

$$V_i = 100\text{m} \times 0.30 \text{ m} \times 0.049 \text{ m} \times 42$$

$$V_i = 61.74 = 62 \text{ m}^3$$

Esta es la cantidad inicial del agua que se debe aplicar; por lo tanto, en los riegos posteriores sólo será necesario aplicar el agua para reponer la cantidad que se pierde porque evapotranspiración.

Nacionales

Campos, F. (2002), En su investigación “Situación del cultivo de caña de azúcar en la Región San Martín, manifiesta que en:

Esta Región se cultivan actualmente unas 2,500 hectáreas concentrándose la mayor cantidad en áreas instaladas en la Provincia de San Martín.

Los rendimientos van de 30 a 50 T/Há y producción destinada a la elaboración de aguardiente chancaca.

Estos rendimientos pueden incrementarse en:

- Condiciones de Mecano 80 a 100 T/Há.
- Bajo riego a 180 200 T/Há.

MINAG (2002). En su investigación “Características agronómicas y agroindustriales de las principales variedades de la caña en San Martín manifiesta que:

a.- CH₃₂ – (H₃₂ – 8560); promedio 105 T/Há/año

b.- H₃₂ – 1933; produce 104 T/Há/año

c.- P12 – 745 Azul casa grande; produce 109.63 T/Há/año

d.- M64 – 148 y brasilera, con rendimiento de fluctuación de 10.74 y 101.78 Tm/Há.

Pinillos, C.M. (2010); en su investigación “Programación de Riego por Gravedad a través de un método analítico en el cultivo de caña de azúcar”; se realizaron:

muestreos básicos para la determinación de textura, densidad aparente (DA), capacidad de campo (CC), para el consumo de agua por el cultivo de caña de azúcar, se utilizaron los promedios de evapotranspiración potencial de cada mes, se concluyó que el volumen calculado según la programación de riego para el campo Medanos 1A1 (95.23 Há.) en la empresa agraria Chiquitoy – Valle de Chicama es de 12,525 m³/año/Há.

Rodríguez, R. (2019); en su investigación “Comparación del Sistema de riego por aspersión y gravedad en los componentes de rendimiento, germinación y macollamiento en el cultivo de caña de azúcar”;

Se empleó el diseño experimental de Bloques completos al azar con un total de 2 tratamientos y 4 repeticiones por cada tratamiento. La investigación se realizó en 2 campos uno manejado mediante riego por gravedad y el otro bajo riego por aspersión sembrada con la variedad H32-8560. Se realizó el estudio de germinación de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) encontrarse, que para el sistema de riego por aspersión se tiene 6.73 plantas germinadas por metro lineal y para un sistema de riego por gravedad 4.9 plantas por metro lineal. De esta manera se obtuvo 81% de germinación para el riego de aspersión y 59.7% de germinación para riego por gravedad.

Viera, J.C.; Amaya, L.A. (2019); en su investigación “Cálculo de los requerimientos hídricos para el cultivo de caña de azúcar y ajuste del Kc utilizando imágenes satelitales Sentinel – 2 en el distrito de Cayalti, Lambayeque”; concluyó que:

para un periodo de cultivo de 11 meses sin agoste, con tres Kc de cultivo, un Kc inicial de 0.42, un Kc medio de 1.20 y un Kc final de 1.0, el requerimiento hídrico de la caña de azúcar fue un volumen de 14,300 m³/Há./campaña en caña virgen; con una ETP inicial de 1.90 mm/día; ETP media de 6.20 mm/día; y en su etapa final una ETP de 4.0 mm/día.

Zárate, H. (2016); en su investigación “Adaptabilidad de 12 variedades de caña de azúcar en el centro poblado Naranjo Yacu, distrito de Santo Domingo de la capilla Cutervo 2014-2015”, concluyó:

Los rendimientos de caña de azúcar tienen una media de 88.10 Tm/Há.; una mediana de 63.89 Tm/Há.; y una moda de 58.331 Tm/Há.; valores poco semejantes, indicando que el rendimiento de caña tiene una distribución no normal. En promedio experimental fue de 73.41 Tm/Há. valor superior al promedio de la zona de cultivo que es de 50 Tm/Há. Estos rendimientos están muy por debajo de los promedios nacionales, esto debido a que el cultivo de la caña de azúcar su mayor producción es hasta los 1,300 msnm y también a otros factores como las bajas temperaturas y menores horas de luz.

2.2. Marco teórico

Requerimiento de agua en caña de azúcar

Montalvo, (2013), sostiene:

El consumo de agua por parte de la caña de azúcar varía de acuerdo con la etapa de desarrollo, a humedad del suelo y a las condiciones climáticas. Los requerimientos de temporada de agua para cultivo para la caña de azúcar, se estima entre 1200 y 1500 mm por hectárea por año, bajo un rango de condiciones climáticas y longitudes variables de temporada de cultivo de 12 a 14 meses, con un promedio de evapotranspiración de 4 a 7 mm por hectárea al día

Requerimientos climáticos caña de azúcar

Para Sánchez, 1988; Buenaventura, 1990; citados por Peña, (1997).

Esta especie es típica de los climas tropicales y puede producirse hasta los 35 grados latitud norte y sur, se desempeña mejor en altitudes que van desde 0 a 1000 m sobre el nivel del mar, aunque los rendimientos obtenibles hasta 1,500 metros son económicamente aceptables. Se desempeña bien con una temperatura media de 24°C, además de una precipitación anual de 1,500 mm bien distribuidos durante su ciclo de crecimiento. Cuando la temperatura de la noche y del día son uniformes, la caña no cesa de crecer y en sus tejidos siempre habrá un alto porcentaje de azúcares reductores. Las variaciones de temperatura superiores a 8°C son muy importantes en la fase de maduración, porque ayudan a formar y a retener sacarosa.

A mayor radiación solar habrá mayor actividad fotosintética y mayor translocación de los carbohidratos, de las hojas al tallo, produciendo tonelajes más altos de azúcares en la fábrica,

Distribución y eficiencia productiva del cultivo de caña de azúcar

Este cultivo se encuentra en los 5 continentes, siendo Europa el que menos área cultivada presenta por la latitud a la que se encuentra, es representado por Islas Canarias, Málaga y Granada de España con unas 1,150 hectáreas. América es el continente que más caña cultiva en el mundo y junto con Asia representa el 90% del total mundial tabla 1

Tabla 1:

Distribución de la producción mundial de caña de azúcar en hectáreas para el año 1997 – 2001

Cont.	Superficie de caña cultivada en miles de Há.					
	Año	1997	1998	1999	2000	2001
América		8.934	9002	8748	8768	8990
Asia		8626	8572	8708	8521	8362
Europa		1.2	1.3	1.1	1.15	1.15
África		1.327	1.365	1378	1.381	1.394
Oceanía		469	480	495	515	498
MUNDO		19.357	19.420	19.327	19.186	19.245

Fuente: FAOSTAL, 2002

El rendimiento en toneladas por hectárea presenta un promedio mundial un poco mediocre 65 Tn 1 Ha., esto se debe a producciones muy ineficientes en ciertos países como Pakistán que posee aproximadamente 978 mil hectáreas en producción. Por el contrario, países como Perú, Guatemala y Colombia, para Latinoamérica se encuentra muy por encima del promedio mundial y presentan una industria azucarera de alta eficiencia (FAOSTAT, 2002).

En la tabla 2 se muestran los rendimientos promedios de algunos países.

Tabla 2:

Rendimiento promedio de caña de azúcar en Centro América y el Caribe 2001

País	Caña de azúcar rendimiento					
	Año	1997	1998	1999	2000	2001
Guatemala		126.5	111.3	100.00	100.2	102.5
El Salvador		81.5	73	75.8	74.2	78.5
Honduras		91.2	92.5	89.9	93.2	94.6
Nicaragua		79.4	71.5	72.9	69.5	78.1
Costa Rica		86.0	95.9	92.4	85.0	87.9
Barbados		70.3	58.8	64.0	63.6	63.6
Cuba		34.4	34.5	37.6	38.5	35.0
Jamaica		65.8	69.9	67.6	56.6	66.1
República Dominicana		35.6	28.2	39.5	41.7	40.1

Fuente: FAOSTAT, 2002

Los factores fundamentales influyen en el uso consultivo del agua son:

Clima; representado por la temperatura, humedad relativa, vientos, latitud, luminosidad, precipitación, Etc. Cultivo; representado por la especie vegetal, variedad, ciclo vegetativo, hábitos radiculares, Etc. Suelo; representado por la textura, profundidad de nivel freático, capacidad de retención de humedad, Etc. Agua de riego; en cuanto a su calidad disponibilidad, práctica de riego, nivel de esta con respecto a la superficie, Etc.

El Riego en la caña de azúcar

Según Díaz, L.L.; y Portocarrero, E.T.; (2002) indica:

Primer riego de germinación: El riego de germinación debe realizarse de uno a dos días después de la siembra. Para el riego por aspersión debe aplicarse un volumen total de aproximadamente 105 mm en un período no mayor de 3 horas para evitar una sobre saturación del suelo que puede conllevar a la pudrición de las yemas, falta de oxígeno a las yemas, y proliferación de plagas en el suelo.

Cuando el riego es por gravedad debe regarse hasta el momento en que el agua llega al final del surco y no saturar por más tiempo cada uno de los surcos, además, puede usarse riego por goteo.

Segundo riego: El segundo riego debe hacerse de la misma manera en que se realizó el primer riego, el principal factor a considerar es la cantidad de agua aplicada, pues es preferible un mayor número de riegos que mayor volumen de agua por riego, debido a los problemas que puede ocasionar una saturación prolongada de agua en el suelo. El segundo riego se debe realizar entre los 11 y 13 días después de la siembra.

Tercer riego: El tercer riego se debe aplicar 32 – 35 días después de siembra. La frecuencia de riego después del tercer riego está dada por el tipo de suelo. En este riego se debe aplicar una lámina de 65 a 75 mm, siempre en un período no mayor a 3 horas para evitar los problemas que ello conlleva y los retrasos de otros terrenos de producción.

Cuarto riego: El cuarto riego se realiza de igual manera que el tercer riego entre los 52 y 55 días después de la siembra, este período dependerá del tipo de suelo en que esté ubicada la caña.

Quinto riego: Se realiza de la misma forma que el tercer riego, se realiza los 73 – 75 días después de la siembra. La frecuencia entre riegos para suelos arcillosos con caña nueva es de 20 a 22 días entre riegos, la cual se debe seguir aplicando según sea necesario durante el desarrollo del cultivo. Se recomienda que preferentemente el número de riego sea 8 por cultivo, se

considera efectivo aún entre 9 y 11 riegos; pero este número dependerá de las condiciones ambientales y rendimientos de los cañales.

Capacidad de suelo para almacenar agua

La capacidad de almacenar agua está determinada por la porosidad del suelo, la cual depende de la textura y estructura. Las máximas capacidades de almacenar agua útil para los cultivos en 1 metro de perfil en función de la textura, se presenta en la tabla 3.

Tabla 3:

Capacidad máxima de almacenar agua útil del suelo.

Clase textural	Agua disponible (% en volumen)
Franco Arenoso	13
Franco	19
Franco Arcilloso	21
Franco Limoso	19

Fuente (Figueroa, 2014)

Importancia del cultivo de caña de azúcar

MINAG – OEEE, en su página web sostiene:

La caña de azúcar considerada uno de los principales cultivos agroindustriales en el Perú, genera un aporte importante del Valor Bruto de la Producción Agropecuaria y en especial en el subsector agrícola. Es por esto que a diciembre del año 2012 el VBP (Valor Bruto de la Producción) agropecuaria señala un monto de 22,226 millones de nuevos soles, el subsector agrícola con 13,070 millones de nuevos soles, la caña de azúcar aportó aproximadamente 704.3 millones de nuevos soles, con un crecimiento del 4.9%, con respecto al 2021. Se ha determinado que unos 492.064 peruanos aproximadamente dependen directa o indirectamente del desarrollo de la actividad azucarera en el Perú. En los últimos 30 años en el Perú la superficie mayor cosechada fue de 81,149 hectáreas

El departamento de La Libertad tiene el mayor rendimiento promedio con 141.16 Kg/Há seguido de Lima con 130.939 Kg/Há, Áncash con 127.022

Kg/Há, Lambayeque con 107.625 Kg/Há y Arequipa 104.099 Kg/Há. El mayor rendimiento promedio nacional se da en el año 2008 con unos 135.923 Kg/Há (MINAG - OEEE).

Riego por gravedad

La energía que distribuye el agua por el campo es la derivada de su propio peso (diferencia de cotas), al circular libremente por el terreno a favor de la pendiente. Con este método de riego se suele mojar la totalidad del terreno y requiere el reparto del agua mediante surcos, melgas o pozas.

El riego por gravedad en el cultivo de caña de azúcar

Los flujos pueden llegar de muchas maneras (cuencas, canales, bordes, Etc.) cuya característica común es que el agua llega a cierto punto de la parcela y desde ahí se mueve superficialmente el resto, el riego superficial había sido el único método utilizado y aún es el más utilizado. Si bien tiene desventajas importantes, como baja eficiencia en la utilización del agua, necesidad de nivelar el terreno, dificultades para aplicar volúmenes correctos con la frecuencia adecuada, y elevada demanda de mano de obra, se espera que siga siendo de lejos el método más comúnmente utilizado (Córdova, 2013).

Sistemas de riego por gravedad y presión

1.- Sistema de riego superficiales

Córdova, F. (2013), Los sistemas de riego por superficie, pueden clasificarse en dos grandes grupos, los que cubren completamente la superficie con agua, como es el caso del riego por melgas, o cuando ésta se cubre solo parcialmente, como es el caso del riego por surcos

2.- Sistema de riego superficiales

Algunas veces llamado microriego, puede dividirse según utilice técnicas de aspersión o de riego localizado.

El riego por aspersión, es una modalidad de riego mediante el cual el agua llega a las plantas en forma de "lluvia" localizada, más o menos

intensa y uniforme sobre la parcela con el objetivo que se infiltre en el mismo punto donde cae.

El riego por goteo, emplea emisores para depositar el agua sólo en la superficie del suelo próxima a la planta. Generalmente, aplicando pequeños gastos de agua, pero lo suficiente para reponer la humedad del suelo de la zona radicular, esto bajo la condición de riegos muy frecuentes casi en base diaria. El riego por goteo también se caracteriza por gastos usualmente de 2 a 4 litros por hora.

Sistema de riego por goteo

Ascencios, (2013)

El goteo tiene un mecanismo que disipa la presión del agua la misma que es aplicada en forma localizada hacia la zona de influencia de las raíces de las plantas, a través de un sistema de tuberías laterales, en la cual están los emisores.

Necesidades de agua en los cultivos

Vázquez et al, (2017).

La determinación del consumo de agua de los cultivos llamada evapotranspiración real se efectúa mediante la utilización de diferentes métodos. La mayoría de ellos utiliza variables climáticas como evaporación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, entre otros.

Evapotranspiración

Vázquez et al, (2017).

Es el proceso de flujo de agua hacia la atmósfera proveniente de la evaporación del agua del suelo y de la transpiración de la planta.

Evapotranspiración Potencial (ETP)

La Evapotranspiración Potencial (ETP) es aquella que se produce en un cultivo de tamaño corto (generalmente pastos) que cubre toda la superficie del

suelo, en estado activo de crecimiento y con un suministro adecuado y continuo de agua (Vázquez et al, 2017).

Evapotranspiración Real O Actual (ETA)

Vázquez et al, (2017);

La Evapotranspiración Real o Actual (ETA) es la que se produce cualquiera que sean las condiciones de las plantas y del suelo. Se le define también como la tasa real de consumo de agua de un cultivo

ETA = UC = Uso consultivo

ETA = Kc ETP

Kc = Coeficiente de cultivo; indica el grado de desarrollo de las plantas o cobertura del suelo por el cultivo

Métodos para determinar la evapotranspiración potencial (ETP)

Según Vázquez y otros (2017); los métodos para determinar ETP más comunes son:

Métodos directos (Lisímetro, tanque de evaporación, muestreo de humedad del suelo).

Métodos indirectos (Hargreaves, Penman modificado, Thornthwaite).

Métodos agroclimáticos para determinar la evapotranspiración potencial (etp)

Existen varios métodos para determinar ETP en forma indirecta, entre ellos los métodos de Thornthwaite y Hargreaves, que serán los que se usarán en la presente investigación (Vázquez et al, 2017).

Método De Thornthwaite

El modelo es el siguiente:

$$ETP = 1.6 \times f \left[\frac{10 \times T_M}{I} \right]^a$$

ETP = cms/mes

TM = Temperatura media mensual, °C

I = Índice de calor anual

$$I = \sum_{i=1}^{12}$$

$$i = \left[\frac{TM}{5} \right]^{1.514}$$

$$a = 0.6751 \times 10^{-6} I^3 - 0.77 \times 10^{-4} I^2 + 0.017921 I$$

f = valor de corrección en función de la latitud de la estación meteorológica, tabla 4

Tabla 4:

Coefficiente de corrección f en la fórmula de cálculo de ETP

Latitud	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0°	1.02	0.94	1.04	1.01	1.09	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5°	1.04	0.95	1.04	1.00	1.02	0.99	1.02	1.00	1.00	1.05	1.03	1.06

Fuente: (Vázquez et al, 2017).

Método de hargreaves

Es el modelo es:

fórmula en base a datos de radiación solar equivalente

$$ETP = 0.0075 \times RMS \times TMF$$

$$RSM = 0.075 RMM \times S^{0.5}$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes)

RSM = Temperatura media mensual en °F, medida

$$TMF = \frac{9}{5} T_{media} \text{ °C} + 32$$

RMM = Radiación extraterrestre equivalente en mm de evaporación mensual (mm/mes)

$$RMM = Ra \times DM$$

DM = Número de días del mes que se analiza

S = Porcentaje de horas de insolación (%)

$$S = \frac{n}{N} \times 100$$

N = Horas de insolación fuerte, promedio de lugar, medida (horas de sol registrada en la estación meteorológica)

N = Hora de insolación fuerte, según mes y latitud de lugar (Tabla 5)

Tabla 5:

La Radiación extraterrestre (Ra) expresada en equivalente de evaporación (mm/día) para el hemisferio sur

Latitud	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0°	15	15.2	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8
2°	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
4°	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4

Fuente: (Vázquez et al, 2017).

Tabla 6:

Duración máxima diaria medida de las horas de fuente insolación (N) en diferentes meses y latitudes

Latitud	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0°	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
5°	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4

Fuente: (Vázquez et al, 2017).

Evapotranspiración del cultivo

Según SELLES VAN SCH (2012),

La determinación de la evapotranspiración de cultivo que permitan definir las necesidades de agua a partir de antecedentes agroclimáticos es la base de la programación. La forma clásica de determinar la evapotranspiración de un cultivo a partir de información meteorológica se expresa en la siguiente ecuación

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

Donde:

ET_c = corresponde a la evapotranspiración del cultivo o requerimientos netos de agua, expresado en mm/día

ET_0 = corresponde a la evapotranspiración de referencia o demanda climática por agua, también expresada en mm/día

K_c = coeficiente de cultivo, corresponde a un factor de corrección que permite transformar la ET_0 , en consumo de agua por el cultivo.

El coeficiente de cultivo (K_c) es un factor que refleja aspectos biológicos propios de cada cultivo.

Dentro de estos factores se encuentra, la altura de las plantas, el comportamiento estomático, el área foliar y el sistema de conducción.

Estos dos últimos factores se reflejan en el porcentaje de cobertura o grado de sombreado que produce cultivo, que es una imagen del grado de intersección de radiación solar que realiza la planta.

Determinación del coeficiente de cultivo (K_c)

Vázquez et al, (2017)

El coeficiente K_c de cada cultivo tendrá una variación estacional en función de las fases de desarrollo del cultivo y que son los siguientes.

a.- fase inicial: fase 1

Comprende desde la germinación y crecimiento inicial; desde la siembra hasta el 10% de la cobertura vegetal.

b.- fase de desarrollo del cultivo: fase 2

hasta 70% - 80% de cobertura vegetal.

c.- fase de mediados del período

(Maduración): fase 3

Cubierta vegetal 100% hasta el momento de iniciarse la maduración.

d.- fase final de periodo vegetativo

(Cosecha): fase 4

La planta llega a su plena maduración o cosecha.

La caña de azúcar es un cultivo considerado como un cultivo extensivo y según Vázquez y otros, 2017; estos cultivos su Kc varía de la forma y modo siguiente; tabla 7.

Tabla 7:

Valor de Kc para diferentes cultivos según el clima y su fase de crecimiento.

Cultivos	Humedad relativa	HRmin >70%		HRmin <70%	
	Viento (m/seg)	0-5	5-8	0-5	5-8
	Fase de desarrollo	Kc			
Cultivos Extensivos	3	0.95	0.95	1.10	1.05

Según Doorenbos, 1982; la ETA de la caña de azúcar varía entre 1000 mm a 1,500 mm.

Uso consuntivo

Garay, C.O. (2019);

define al uso consuntivo como la cantidad de agua que consume las plantas para germinar, crecer y producir económicamente y cuantitativamente en un concepto equivalente al de evapotranspiración. Los principales componentes del uso consuntivo son la transpiración y la evaporación.

3. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación

Mapa de ubicación

Esta investigación se realizó en el Sector San Jacinto (WGS 84 – 17 M, 795771.17 E 8983704.95 N (sistema de riego por goteo); 797527.74 E 8934483.27 (sistema de riego por gravedad)), perteneciente al distrito de Nepeña de la provincia de Santa de la Región de Ancash.

MAPA DE UBICACIÓN

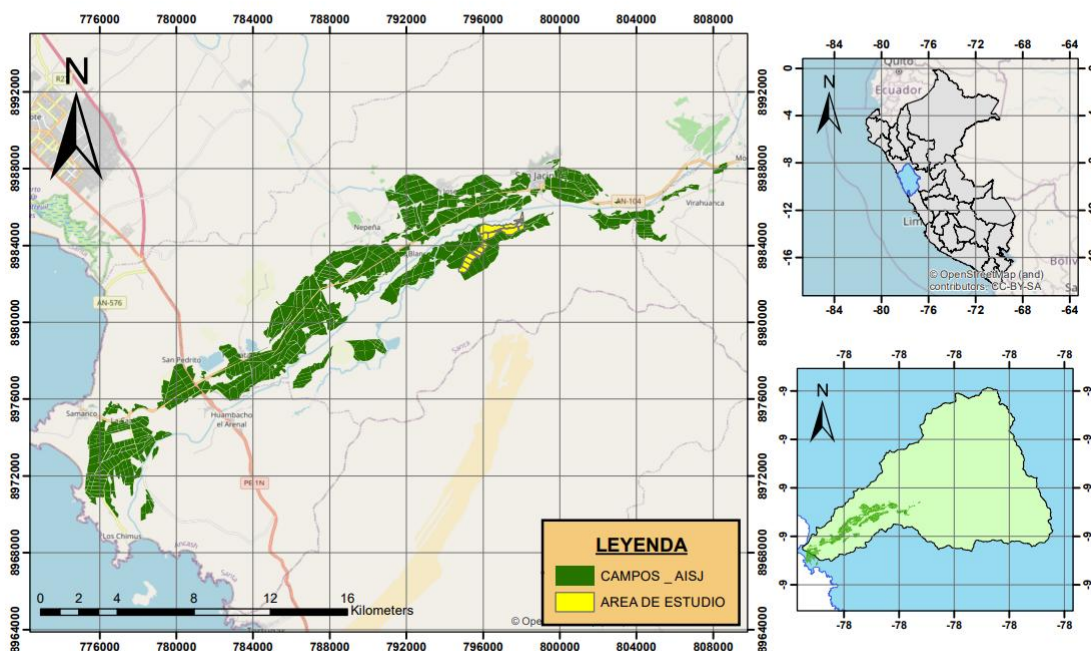


Figura 1: Mapa de ubicación del Sector San Jacinto

Ubicación Geopolítica

Región : Áncash

Provincia: Santa

Distrito : Nepeña

Sector : San Jacinto

Ubicación Geodésica

Sistema	Coordenadas		DATUM	Zona de	Altitud
Riego	E(m)	N(m)			
Goteo	795771.17	8983704.95	WGS 84	17 M	202
Gravedad	797527.74	8934483.27			224

3.2. Materiales y métodos

Materiales

Muestra de agua

Muestra de suelo

Equipos

Cámara fotográfica

Laptop

GPS

Equipos de laboratorio de análisis de suelo y agua

Calculadora

Software o programas

AutoCAD

Google Earth

ArcGIS 10.5

Word

Excel

Power point

3.3. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Métodos

En la presente investigación se usará el Método Científico Inferencial Inductivo, que nos permite conocer a partir de hechos particulares y concretos; o sea el proceso de razonamiento basado en la observación partirá de un contenido o hecho concreto para formular razonamiento o procedimiento más general; se siguen los siguientes pasos: observación – registro – análisis comparativo – generalización (Carrasco, 2019).

Técnicas

En la presente investigación se usará la técnica de recolección de información mediante el análisis documental (Informes, gráficos y cualquier otro documento escrito); y, estrictamente la técnica de recolección de información tipo OBSERVACIÓN NO EXPERIMENTAL (Carrasco, 2019); se observan las variables que han ocurrido a su voluntad; es decir, no existe manipulación de variables.

Instrumentos

Para la recolección de la información se utilizará la LISTA DE COTEJO (Cuadro de doble entrada, una vertical y otra horizontal); en la vertical de la identificación del lote; y el horizontal los indicadores o índices; es decir, aquello que se quiere conocer de los documentos que se investiga (Carrasco, 2019); en la tabla 9 se plantea la LISTA DE COTEJO a usar.

Tabla 8: Lista de cotejo

Campo	Nº	Identificación		Campaña	Área (Hás.)	Sistema de riego	Volumen de agua(m ³)	Producción TM
		UT	Lote					

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Determinación de las láminas de riego para los sistemas de riego por goteo gravedad en la zona de estudio en base a modelos agroclimatológicos.

Los modelos agro climatológicos usados en la presente investigación son: Thorntwaite y Hargreaves; el método Thorntwaite usa la única variable de la temperatura media mensual (Torres, 1983; calle, s/f); la misma que fue tomada de los registros meteorológicos de la Estación Meteorológica “Juan Díaz” del distrito de Nepeña, Provincia Santa, departamento de Ancash ubicada en una latitud SUR de $9^{\circ} 48' 46,12''$ ($9,81^{\circ}$) y longitud Oeste de $78^{\circ} 12' 11,56''$ ($78,20^{\circ}$); tal como se puede ver en la tabla N°9.

Según Vásquez, A.; et al – 2017 el método de Hargreaves utiliza los datos climáticos de temperatura media mensual, radiación solar medida y calculada, radiación extraterrestre equivalente, factor mensual de latitud, humedad relativa y la altitud. Los cálculos de la evapotranspiración potencial pueden ser en base a la radiación y temperatura; el modelo de Hargreaves usado en la presente investigación es el modelo en base a datos de radiación solar equivalente (Vásquez. A.; et al – 2017).

$$ETP = 0,0075. RSM. TMF$$

Donde:

$$RSM = 0,075 * RMM * S^{0.5}$$

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes)

RSM = Radiación solar equivalente en mm de evaporación mensual (mm/mes)

TMF = Temperatura media mensual (°F) medidos

$$TMF = \frac{9}{5} T_{media} (^{\circ}C) + 32$$

RMM = Radiación extraterrestre equivalente en mm de evaporación (mm/mes)

$$RMM = Ra * DM$$

Ra = Radiación extraterrestre equivalente en mm de evaporación (mm/día) – hemisferio sur – Según Tabla N°9

Tabla 9:

La radiación extraterrestre (Ra) expresado en equivalente de evaporación (mm/día) – hemisferio sur

Latitud sur	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
10°	16,4	16,3	15,5	14,2	12,8	12,0	12,4	13,5	14,8	15,9	16,2	16,2
9,81°	16,37	16,28	15,5	14,22	12,83	12,04	12,43	13,52	14,81	15,91	16,2	16,2
8°	16,1	16,1	15,5	14,4	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16,0	16,0

Fuente: Vásquez, A.; et al – 2017

DM = número de días del mes que se analiza

$$S = \frac{n}{N} * 100 = \text{Porcentaje de horas de insolación (\%)}$$

n = horas de insolación fuerte promedio del lugar, medido. Se tomó la data de la estación meteorológica “San Jacinto” ubicada en el distrito de Nepeña, Provincia Santa, departamento de Ancash a una latitud Sur de 9°10’ (9,16°) y una longitud Oeste de 78° 17’ (78,28°) según la Tabla N°10

Tabla 10:

Horas de insolación fuerte promedio del lugar (Nepeña)

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
6,9	5,8	6,1	7,4	6,6	6,3	5,0	6,0	6,4	7,4	5,3	7,8

Fuente: MIDAGRI – ANA – ALA Santa Lacre marca – 2009

N = horas de insolación fuerte, según mes y latitud del lugar, se obtiene de la tabla N°11.

Tabla 11:

Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación (N) en diferentes meses y latitudes sur

Latitud sur	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
10°	12,6	12,4	12,1	11,8	11,6	11,5	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7
9,81°	12,59	12,42	12,1	11,81	11,61	11,51	11,61	11,8	12,0	12,29	12,59	12,69
8°	12,3	12,9	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	11,9	12,0	12,2	12,3	12,4

Fuente: Vásquez, A.; et al – 2017

4.1.1.1. Determinación de la Evapotranspiración Potencial por el Método de Thornthwaite.

En la presente investigación se usó la siguiente ecuación:

$$ETP = 1,6 * f\left(\frac{10 * TM}{I}\right)^a$$

ETP = Cms/mes

TM = temperatura media mensual °C

I = índice de calor anual

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

$$i = \left(\frac{TM}{5}\right)^{1,514}$$

$$a = 0.6751 * 10^{-6} I^3 - 0.77 * 10^{-4} I^2 + 0.017921 I + 0.4924$$

En la tabla N°12 se puede ver la temperatura media mensual (TM) para la Estación Meteorológica “Juan Díaz”.

Tabla 12:

Temperatura Media (TM) mensual – Estación Meteorológica “Juan Díaz” – Nepeña

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
24,32	25,84	24,35	22,7	19,15	18,05	17,3	17,15	17,55	18,6	19,6	21,10

Fuente: Estación Meteorológica “Juan Díaz” – Nepeña

f = factor de corrección del número de días del mes (Nd) y la duración astronómica del día (N) – horas de sol

$$f = \frac{Nd}{30} * \frac{N}{12}$$

Para la zona de estudio N en promedio es 12,085 para la zona de estudio Nd en promedio es 30,416.

$$\text{Por tanto } f = \frac{30,416}{30} * \frac{12,085}{12} = 1,01$$

Cálculo de Índice de Calor Anual (I)

$$I = \left(\frac{24,32}{5}\right)^{1,514} + \left(\frac{25,84}{5}\right)^{1,514} + \dots + \left(\frac{19,6}{5}\right)^{1,514} + \left(\frac{21,10}{5}\right)^{1,514}$$

$$I = 102,34$$

Cálculo de a

$$a = 0.6751 * 10^{-6}I^3 - 0.77 * 10^{-4}I^2 + 0.017921I + 0.4924$$

$$a = 0.6751 * 10^{-6}(102.34)^3 - 0.77 * 10^{-4}(102.34)^2 + 0.017921(102.34) + 0.4924$$

$$a = 0.723 - 0.806 + 1.834 + 0.4924$$

$$a = 2.24$$

Cálculo de ETP mensual

$$ETP = 1,6 * f * \left(\frac{10*TM}{I}\right)^a$$

ETP enero =	11,23	Cms/mes =	112,3	mm/mes =	3,62 mm/día
ETP febrero =	12,87	Cms/mes =	128,7	mm/mes =	4,60 mm/día
ETP marzo =	11,26	Cms/mes =	112,6	mm/mes =	3,63 mm/día
ETP abril =	9,63	Cms/mes =	96,3	mm/mes =	3,21 mm/día
ETP mayo =	6,58	Cms/mes =	65,8	mm/mes =	2,12 mm/día
ETP junio =	5,76	Cms/mes =	57,6	mm/mes =	1,92 mm/día
ETP julio =	5,24	Cms/mes =	52,4	mm/mes =	1,69 mm/día
ETP agosto =	5,14	Cms/mes =	51,4	mm/mes =	1,66 mm/día
ETP sep. =	5,41	Cms/mes =	54,1	mm/mes =	1,80 mm/día
ETP oct. =	6,16	Cms/mes =	61,6	mm/mes =	1,99 mm/día
ETP nov. =	6,93	Cms/mes =	69,3	mm/mes =	2,31 mm/día
ETP dic. =	8,17	Cms/mes =	81,7	mm/mes =	2,64 mm/día

4.1.1.2. Determinación de la evapotranspiración Potencial por el Método de Hargreaves.

En la presente investigación se usó la siguiente ecuación:

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes)

Cálculo de Radiación solar equivalente en mm de evaporación mensual (mm/mes) – RSM

$$RSM = 0,075 * RMM * S^{0.5}$$

RMM = Radiación extraterrestre equivalente en mm de evaporación mensual (mm/mes).

$$RMM = Ra * DM$$

RMM	enero =	507,47
RMM	febrero =	455,84
RMM	marzo =	480,50
RMM	abril =	426,60
RMM	mayo =	397,73
RMM	junio =	361,20
RMM	julio =	385,33
RMM	agosto =	419,12
RMM	septiembre =	444,30
RMM	octubre =	493,21
RMM	noviembre =	486,00
RMM	diciembre =	502,20

Cálculo del Porcentaje de horas de insolación, S en %.

$$S = \frac{n}{N} * 100$$

S	enero =	54,8
S	febrero =	46,7
S	marzo =	50,4
S	abril =	62,7
S	mayo =	56,8
S	junio =	54,7
S	julio =	43,1
S	agosto =	50,8
S	septiembre =	53,3
S	octubre =	60,2
S	noviembre =	67,5
S	diciembre =	61,5

Cálculo de Radiación solar equivalente (RSM) en mm de evaporación mensual (mm/mes)

$$RSM = 0,075 * RMM * S^{0.5}$$

RSM enero =	281,74
RSM febrero =	233,64
RSM marzo =	255,85
RSM abril =	253,38
RSM mayo =	224,82
RSM junio =	200,36
RSM julio =	189,73
RSM agosto =	224,01
RSM sep. =	243,26
RSM oct. =	287,08
RSM nov. =	299,47
RSM dic. =	295,42

Cálculo de la Temperatura media mensual (°F) medidos

$$TMF = \frac{9}{5} (T^{\circ}C) + 32$$

TMF enero =	75,78
TMF febrero =	78,51
TMF marzo =	75,83
TMF abril =	72,86
TMF mayo =	66,47
TMF junio =	64,49
TMF julio =	62,14
TMF agosto =	62,87
TMF sep. =	63,59
TMF oct. =	65,48
TMF nov. =	67,28
TMF dic. =	69,98

Cálculo de ETP

$$ETP = 0,0075 * RSM * TMF$$

ETP enero =	160,13	mm/mes =	5,16 mm/día
ETP febrero =	137,57	mm/mes =	4,91 mm/día
ETP marzo =	145,22	mm/mes =	4,68 mm/día
ETP abril =	138,46	mm/mes =	4,61 mm/día
ETP mayo =	112,08	mm/mes =	3,61 mm/día
ETP junio =	96,91	mm/mes =	3,23 mm/día
ETP julio =	89,84	mm/mes =	2,90 mm/día
ETP agosto =	105,63	mm/mes =	3,41 mm/día
ETP sep. =	116,01	mm/mes =	3,87 mm/día
ETP oct. =	140,98	mm/mes =	4,55 mm/día
ETP nov. =	151,11	mm/mes =	5,03 mm/día
ETP dic. =	155,05	mm/mes =	5,00 mm/día

Para fines de cálculos de lámina de agua estimados para los sistemas de riego por goteo y gravedad en la presente investigación y para la zona de estudio se usó el promedio del ETP de los dos modelos agroclimáticos, así tenemos; en la tabla N°13 se puede apreciar el promedio de ambos modelos.

Tabla 13:

Promedio de ETP entre los modelos de Thornthwaite y Hargreaves en cm/mes

Modelo	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Thornthwaite	11,23	12,87	11,26	9,63	6,58	5,76	5,24	5,14	5,41	6,16	6,93	8,17
Hargreaves	16,0	13,75	14,52	13,84	11,20	9,69	8,98	10,56	11,60	14,08	15,11	15,50
Promedio	13,61	13,31	12,89	11,73	8,85	7,72	7,11	7,85	8,50	10,12	11,02	11,83

En la figura N°2 se puede apreciar la variación de ETP mensual en la zona de estudio.

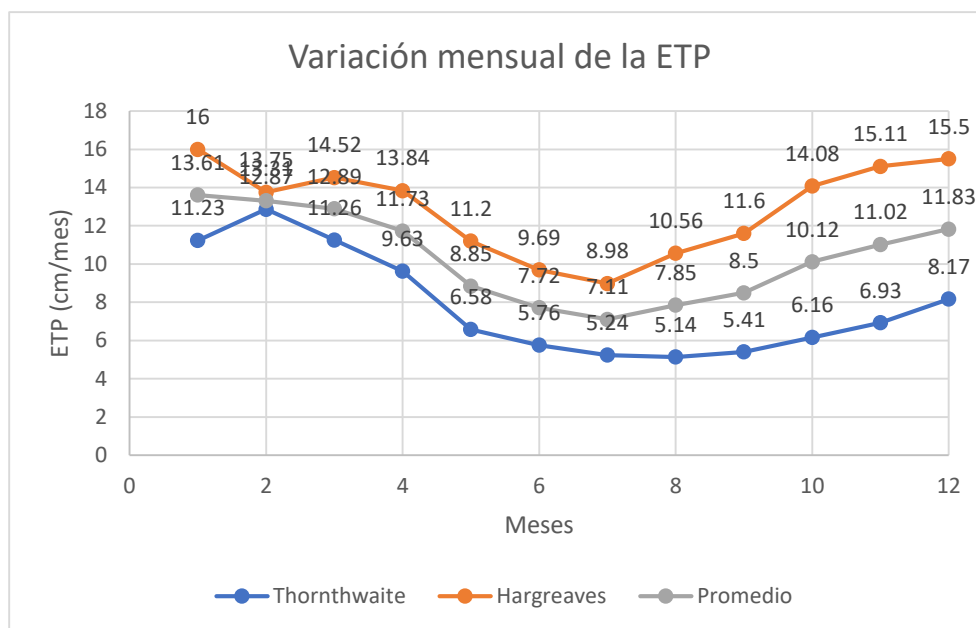


Figura 2: Variación mensual de la ETP con los métodos de Thornthwaite y Hargreaves y el Promedio de ellos en cm/mes

4.1.1.3. Determinación de las láminas de riego

4.1.1.3.1. Sistema de riego por goteo

En la presente investigación la determinación de las láminas de riego basadas en la ETP calculada con los modelos agroclimáticos, se calcularán teniendo en cuenta el cálculo de la Evapotranspiración real o actual (ETA); que se le define como la tasa de evaporación y transpiración de un cultivo excepto de enfermedades, que crece en un campo extenso (1 o más hectáreas) en condiciones óptimas de suelo, fertilidad y suministro de agua (Vásquez, A., et al – 2017).

$$ETA = Kc \cdot ETP$$

Donde:

ETA = Evapotranspiración real o actual del cultivo considerado (mm o cms)

ETP = Evapotranspiración potencial (mm o cms)

Kc = Coeficiente de cultivo que tiene en cuenta el efecto de la relación agua – suelo – planta.

Con respecto a la caña de azúcar, según Vásquez, A., et al – 2017, indica que la caña por sus grandes extensiones de siembra es considerado un cultivo

extensivo; y de acuerdo a que su humedad relativa de la zona es mayor del 70% (87,42% en promedio en la estación “Juan Díaz”), y su velocidad del viento está entre 5 m/s y 8m/s (5,64 m/s en promedio de la estación “Juan Díaz”), le corresponde un kc igual a 0,95 en su etapa 3 o fase 3, llamada fase de maduración (cubierta sombreada efectiva completa).

Tendiendo como base estas consideraciones la ETA para el cultivo de la caña de azúcar en la zona de Nepeña será:

ETA enero =	13,61 cms/mes * 0,95 =	12,93 cms/mes
ETA febrero =	13,31 cms/mes * 0,95 =	12,64 cms/mes
ETA marzo =	12,89 cms/mes * 0,95 =	12,25 cms/mes
ETA abril =	11,73 cms/mes * 0,95 =	11,14 cms/mes
ETA mayo =	8,85 cms/mes * 0,95 =	8,41 cms/mes
ETA junio =	7,72 cms/mes * 0,95 =	7,33 cms/mes
ETA julio =	7,11 cms/mes * 0,95 =	6,75 cms/mes
ETA agosto =	7,85 cms/mes * 0,95 =	7,46 cms/mes
ETA septiembre =	8,50 cms/mes * 0,95 =	8,08 cms/mes
ETA octubre =	10,12 cms/mes * 0,95 =	9,61 cms/mes
ETA noviembre =	11,02 cms/mes * 0,95 =	10,47 cms/mes
ETA diciembre =	11,83 cms/mes * 0,95 =	11,24 cms/mes

Necesidades netas de riego en un sistema por Goteo – Lamina Neta de Riego (LN).

Según fuentes, J.L. (1998); la estimación de las necesidades netas de agua de riego localizado tiene mayor importancia que en otros sistemas de riego, ya que es muy limitado el papel del suelo como almacén o reserva de agua. Cuando el agua se aplica toda la superficie a regar, las necesidades a efectos de diseño, las aportaciones por precipitación efectiva no se consideran, ya que dada la gran frecuencia de riego (diaria, por lo general), resulta prácticamente imposible que llueva siempre entre dos intervalos de riego.

Tampoco se consideran los aportes capilares, salvo como especiales, ni las variaciones de almacenamiento, por tanto:

LN = Lamina Neta de riego

LN = ETA

Necesidades totales de riego – lámina bruta de riego (LB)

Las necesidades totales de riego o lámina bruta de riego (LB) son mayores que las láminas netas de riego (LN), ya que es preciso aportar cantidades adicionales para compensar las pérdidas causadas por percolación profunda, por salinidad y por uniformidad del riego (fuente, J.L. 1998).

$$LB = \frac{LN}{Ea}$$

Donde Ea = eficiencia de aplicación

Según Netafin (<https://www.metafin.com.mx>) el riego por goteo es conocido como el método más eficiente de riego con un 95 – 100% de eficiencia en el uso del agua. Esto comparado con los sistemas de aspersión que tienen entre 80 – 85% de eficiencia en el uso del agua o con el método de inundación que tiene entre 60 – 70% de eficiencia. En la presente investigación por seguridad técnica en el riego se usó como eficiencia del sistema de riego por goteo 90%; por lo tanto, la lámina de riego bruta (LB) quedó de acuerdo a la tabla N°14.

Tabla 14:

Lámina de riego bruta (LB) por un sistema de riego por goteo – zona de estudio – Nepeña – cultivo de caña de azúcar.

	Meses												Promedio
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
LN cm/mes	12.93	12.64	12.25	11.14	8.41	7.33	6.75	7.46	8.08	9.61	10.47	11.24	9.86
Ea	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.90
LB cm/mes	14.37	14.04	13.61	12.38	9.34	8.14	7.50	8.29	8.98	10.68	11.63	12.49	10.95
LB mm/mes	143.7	140.4	136.1	123.8	93.4	81.4	75.0	82.9	89.8	106.8	116.3	124.9	109.5
LB m3/Ha	1437	1404	1361	1238	934	814	750	829	898	1068	1163	1249	1095
Total	12,727 m3/Ha												

En la figura N°3 se puede ver la variación de la Lámina de riego mensual en la zona de estudio (Nepeña); con un promedio mensual de 1095 m3/Ha; siendo el mes más alto en promedio, enero con 1437 m3/Ha; y el mes más bajo en promedio, julio con 750 m3/Ha

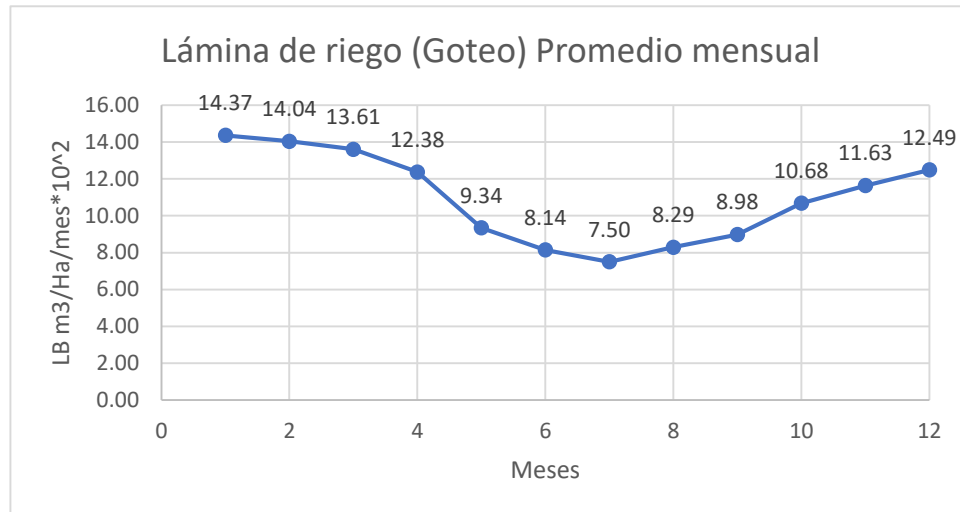


Figura 3: Lámina de riego promedio mensual en la zona de estudio (Nepeña) – Riego por goteo.

4.1.1.3.2. Sistema de riego por gravedad

En la presente investigación se analizó un sistema de riego por gravedad por surcos en el cultivo de caña de azúcar en la zona de estudio (Nepeña).

Se mantienen las mismas condiciones de ETP calculadas para el sistema de riego por goteo; por lo tanto, la lámina Neta de riego (LN) será la misma; y lo que cambia es la eficiencia en un sistema de riego por gravedad y por surco a fin de calcular la Lámina bruta (LB) de riego.

De acuerdo a Natafin (<https://www.metafin.com.mx>) los métodos de riego de inundación tienen eficiencia de riego entre 60% - 70%; para la presente investigación se usó una eficiencia de riego de 60%; quedando la lámina bruta (LB) de riego para un sistema de riego por gravedad y por surcos, será tal como se puede ver en la tabla N°15.

Tabla 15:

Lámina de riego bruta (LB) por un sistema de riego por gravedad y por surco – zona de estudio – Nepeña – Cultivo de caña de azúcar

	Meses												Promedio
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
LN cm/mes	12.93	12.64	12.25	11.14	8.41	7.33	6.75	7.46	8.08	9.61	10.47	11.24	9.86
Ea	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60
LB cm/mes	21.55	21.07	20.42	18.57	14.02	12.22	11.25	12.43	13.47	16.02	17.45	18.73	16.43
LB mm/mes	215.5	210.7	204.2	185.7	140.2	122.2	112.5	124.3	134.7	160.2	174.5	187.3	164.3
LB m3/Ha	2155	2107	2042	1857	1402	1222	1125	1243	1347	1602	1745	1873	1643
Total	19,023 m3/Ha												

En la figura N°4 se puede ver la variación de la lámina de riego mensual en la zona de estudio (Nepeña), para un método de riego por gravedad, surco, con un promedio mensual 1643 m3/Ha; siendo el mes más alto en promedio enero con 2155 m3/Ha; y el mes más bajo en promedio julio con 1125 m3/Ha.

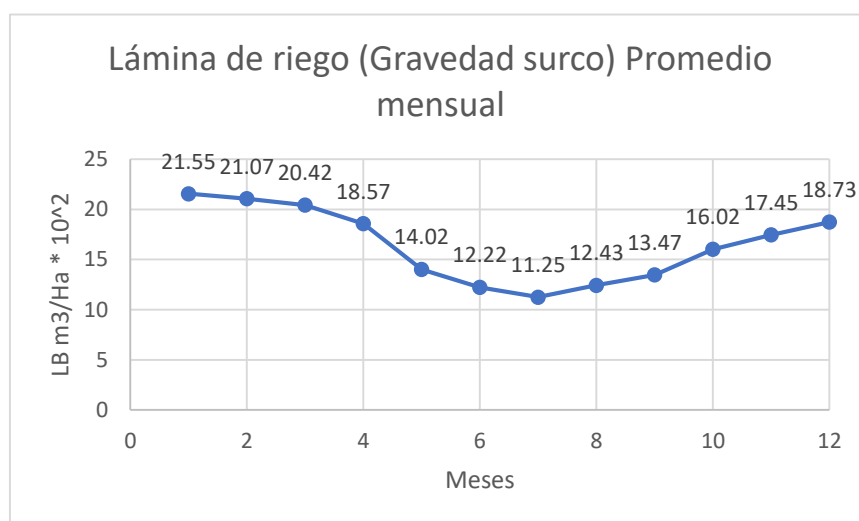


Figura 4: Lámina de riego promedio mensual en la zona de estudio (Nepeña) – Riego por Gravedad Surco.

4.1.2. Cuantificar los volúmenes de agua aplicados en los últimos 3 años a tres lotes de caña de azúcar en el distrito de Nepeña; por riego, por goteo y gravedad.

4.1.2.1. Volúmenes de agua aplicados en los últimos 3 años de tres lotes de caña de azúcar en el distrito de Nepeña – Riego por goteo

Para la presente investigación se obtuvo la información registrada en tres lotes de riego por goteo en el distrito de Nepeña como son los que se pueden apreciar en los Cuadros N°1, N°2 y N°3 llamados: Fundo Palenque Goteo – Lote 010; Fundo Palenque Goteo – Lote 020; y Fundo Palenque Goteo – Lote 030.

En el Cuadro N°1; se puede observar que en el fundo Palenque Goteo – Lote 010 para un área promedio de 8,41 Has instaladas en los tres años, el cultivo desde la siembra hasta la cosecha he tomado un periodo de cultivo en promedio 14,98 meses y un consumo promedio de agua de 13,627.41 m³/Ha.

En el cuadro N°2 en el fundo Palenque Goteo – Lote 020, para un área instalada promedio en los tres años de 5,88 Ha; el cultivo desde la siembra hasta la cosecha ha tenido un periodo de cultivo en promedio 14,90 meses y un consumo promedio de agua de 13,365 m³/Ha.

En el Cuadro N°3 en el fundo Palenque Goteo – Lote 030, para un área instalada promedio en los tres años de 7,47 Ha, el cultivo desde la siembra hasta la cosecha ha tenido un periodo de cultivo en promedio 14,91 meses y un consumo promedio de agua de 13,310.28 m³/Ha.

En el Cuadro N°4, se puede ver que para los tres años de análisis; el consumo promedio de agua del fundo Palenque es de 13,434.23 m³/Ha.

Cuadro 1: Fundo Palenque Goteo – Lote 010 – volúmenes de agua aplicados en m3/Ha por campaña

Año	Mes de cosecha	Área (Ha)	Edad cosecha (meses)	Volumen m3/Ha
2021	Agosto	8,41	15,70	14,610.50
2022	Diciembre	8,41	15,80	14,476.47
2024	Enero	8,41	13,44	11,794.96
Promedios		8,41	14,98	13,627.41

Cuadro 2: Fundo Palenque Goteo – Lote 020 – volúmenes de agua aplicados en m3/Ha por Campaña

Año	Mes de cosecha	Área (Ha)	Edad cosecha (meses)	Volumen m3/Ha
2021	Agosto	8,85	15,60	14,610.50
2022	Diciembre	8,90	15,81	14,081.02
2024	Enero	8,90	13,30	11,403.49
Promedios		8,88	14,90	13,365.00

Cuadro 3: Fundo Palenque Goteo – Lote 030 – volúmenes de agua aplicados en m3/Ha por Campaña

Año	Mes de cosecha	Área (Ha)	Edad cosecha (meses)	Volumen m3/Ha
2021	Agosto	7,48	15,60	14,610.50
2022	Diciembre	7,47	15,81	14,137.46
2024	Febrero	7,47	13,31	11,182.88
Promedios		7,47	14,91	13,310.28

Cuadro 4: Promedio de volumen de agua aplicado al Fundo Palenque – Riego por Goteo en m³/Ha por Campaña

Lote	Volumen Promedio (m³/Ha)	Promedio Fundo Palenque (m³/Ha)
010	13,627.41	13,434.23
020	13,365.00	
030	13,310.28	

4.1.2.2. Volúmenes de agua aplicados en los últimos 3 años a los tres lotes caña de azúcar en el distrito de Nepeña – Riego por gravedad – Surcos

Con la finalidad de realizar este análisis de consumo de agua se obtuvo la información registrada para tres lotes de riego por gravedad – Surcos en el distrito de Nepeña como se puede apreciar en los cuadros N°5, N°6, N°7 y N°8 llamados: Fundo Palenque Gravedad Surcos – Lote 010; Fundo Palenque Gravedad Surcos – Lote 020; y Fundo Palenque Gravedad Surcos – Lote 060.

En el Fundo Palenque Gravedad Surcos – Lote 010 se puede ver que en promedio en los tres años analizados un área de 7,01 Ha; y un periodo de cultivos promedio de 17,03 meses y un consumo promedio de agua de 16,175.18 m³/Ha.

Para el Fundo Palenque Gravedad Surcos Lote 020 según el Cuadro N°6, para un área promedio de 13,60 Ha en los tres años analizados, existe un periodo de cultivo de 15,95 meses y un consumo promedio se agua de 16,927.03 m³/Ha.

En el Cuadro N°7 se puede ver que para el Fundo Palenque Gravedad Surcos – Lote 060, existe un área promedio en los tres años analizados de 12.28 Has; un periodo de cultivo de 16,18 meses; y un consumo de agua de 19,806.27 m³/Ha.

En el Cuadro N°8 se puede observar que el consumo de agua en promedio para los tres años analizados, para el Fundo Palenque Gravedad Surcos fue de 17,636.16 m³/Ha.

Cuadro 5: Fundo Palenque Gravedad Surcos – Lote 010 – volúmenes de agua aplicados en m3/Ha por Campaña

Año	Mes de cosecha	Área (Ha)	Edad cosecha (meses)	Volumen m3/Ha
2019	Diciembre	7,01	14,18	17,075.61
2022	Septiembre	7,01	15,72	15,180.60
2024	Enero	7,01	16,20	16,264.33
Promedios		7,01	17,03	16,175.18

Cuadro 6: Fundo Palenque Gravedad Surcos – Lote 020 – volúmenes de agua aplicados en m3/Ha por Campaña

Año	Mes de cosecha	Área (Ha)	Edad cosecha (meses)	Volumen m3/Ha
2021	Agosto	14,13	19,53	18,400.00
2022	Septiembre	13,34	13,05	14,375.71
2023	Diciembre	13,34	15,27	18,005.40
Promedios		13,60	15,95	16,927.03

Cuadro 7: Fundo Palenque Gravedad Surcos – Lote 060 – volúmenes de agua aplicados en m3/Ha por Campaña

Año	Mes de cosecha	Área (Ha)	Edad cosecha (meses)	Volumen m3/Ha
2021	Junio	12,59	17,13	17,695.29
2022	Octubre	12,13	16,72	22,184.67
2024	Enero	12,13	14,68	19,535.86
Promedios		12,28	16,18	19,806.27

Cuadro 8: Promedio de Volumen de agua aplicado al Fundo Palenque – Riego por Gravedad Surcos en m3/Ha por Campaña

Lote	Volumen Promedio (m3/Ha)	Promedio Fundo Palenque (m3/Ha)
010	16,175.18	17,636.16
020	16.927.03	
060	19,806.27	

4.1.3. Cuantificación de los volúmenes de producción de caña de azúcar en los últimos 3 años de tres lotes del distrito de Nepeña.

Con la finalidad de analizar la producción de caña de azúcar en los últimos 3 años de tres lotes del distrito de Nepeña, sea por el sistema de riego por goteo o riego por gravedad, se analizó el mismo fundo Palenque y los mismos lotes usados en los volúmenes de agua.

4.1.3.1. Volúmenes de producción de caña de azúcar en los últimos 3 años de tres lotes en el distrito de Nepeña – Riego por Goteo.

En los cuadros N°9, N°10, N°11 se pueden apreciar sus resultados llamados: Fundo Palenque Goteo – Lote 010; Fundo Palenque Goteo – Lote 020 y Fundo Palenque Goteo – Lote 030, y en el cuadro N°4; el promedio de producción del Fundo Palenque en los últimos 3 años de tres lotes del distrito de Nepeña.

En el cuadro N°9, para el lote 010 – Riego por Goteo en los tres años analizados, el promedio de producción fue de 147.50 Tn/Ha.

En el cuadro N°10, para el lote 020 – Riego por Goteo, el promedio de producción en los tres años analizados, fue de 161,04 Tn/Ha.

En el cuadro N°11, para el lote 030 – Riego por Goteo, el promedio de producción en los tres años analizados, fue de 145,00 Tn/Ha.

En el cuadro N°12, el promedio de producción parcial fundo Palenque fue de 151,18 Tn/Ha, para un sistema de Riego por Goteo.

Cuadro 9: Fundo Palenque Goteo – lote 010 – Producción de caña de azúcar en los últimos 3 años de tres lotes del distrito de Nepeña – Tn/Ha por campaña

Año	Área (Ha)	Producción Tn/Ha
2021	8,41	130,51
2022	8,41	172,84
2024	8,41	149,11
Promedio	8,41	147,50

Cuadro 10: Fundo Palenque Goteo – lote 020 – Producción de caña de azúcar en los últimos 3 años de tres lotes del distrito de Nepeña – Tn/Ha por campaña

Año	Área (Ha)	Producción Tn/Ha
2021	8,85	156,02
2022	8,90	126,62
2024	8,90	150,47
Promedio	8,85	161,04

Cuadro 11: Fundo Palenque Goteo – lote 030 – Producción de caña de azúcar en los últimos 3 años de tres lotes del distrito de Nepeña – Tn/Ha por campaña

Año	Área (Ha)	Producción Tn/Ha
2021	7,48	118,90
2022	7,47	183,45
2024	7,47	136,50
Promedio	7,47	145,00

Cuadro 12: Promedio de Producción de caña, en fundo Palenque – Riego por Goteo en Tn/Ha por campaña

Lote	Producción Promedio (Tn/Ha)	Promedio Fundo Palenque (Tn/Ha)
010	147,50	151,18
020	161,04	
030	145,00	

4.1.3.2. Volúmenes de producción de caña de azúcar en los últimos 3 años de tres lotes en el distrito de Nepeña – Riego por gravedad surcos.

En el cuadro N°13 se puede ver que para el lote 010 del fundo Palenque la producción promedio para los 3 años analizados fue de 200 Tn/Ha.

En el cuadro N°14, se puede apreciar que para el lote 020 del fundo Palenque la producción promedio para los 3 años analizados fue de 176,10 Tn/Ha.

En el cuadro N°15, se observa que para el lote 060 del fundo Palenque la producción promedio para los 3 años analizados fue de 185,15 Tn/Ha.

En el cuadro N°16, se puede ver que el promedio de producción en el fundo Palenque es de 187,10 Tn/Ha para los 3 años analizados.

Analizados los promedios de los 2 sistemas de riego, el riego por gravedad es de 187,10 Tn/Ha y el riego por goteo 151,18 Tn/Ha; ósea el riego por gravedad superior en 35,92 Tn/ Ha; ósea un 19,2% superior que el riego por goteo.

Cuadro 13: Fundo Palenque Gravedad Surcos – lote 010 – Producción de caña de azúcar en los últimos 3 años de tres lotes del distrito de Nepeña – Tn/Ha por campaña

Año	Área (Ha)	Producción Tn/Ha
2021	7,01	201,00
2022	7,01	224,00
2024	7,01	174,82
Promedio	7,01	200,00

Cuadro 14: Fundo Palenque Gravedad Surcos – lote 020 – Producción de caña de azúcar en los últimos 3 años de tres lotes del distrito de Nepeña – Tn/Ha por campaña

Año	Área (Ha)	Producción Tn/Ha
2021	14,13	218,73
2022	13,34	152,03
2024	13,34	157,53
Promedio	13,60	176,10

Cuadro 15: Fundo Palenque Gravedad Surcos – lote 060 – Producción de caña de azúcar en los últimos 3 años de tres lotes del distrito de Nepeña – Tn/Ha por campaña

Año	Área (Ha)	Producción Tn/Ha
2021	12,59	233,43
2022	12,13	175,32
2024	12,13	146,71
Promedio	12,28	185,15

Cuadro 16: Promedio de Producción de caña, en fundo Palenque – Riego por Gravedad surcos en Tn/Ha por campaña

Lote	Producción Promedio (Tn/Ha)	Promedio Fundo Palenque (Tn/Ha)
010	200,00	187,10
020	176,10	
060	185,15	

4.1.4. Relación entre los volúmenes de agua aplicados por Goteo y Gravedad con la producción por hectárea de caña de azúcar en el distrito de Nepeña en los últimos 3 años,

4.1.4.1. Relación entre los volúmenes de agua aplicados por Goteo con la producción por hectárea de caña de azúcar en el distrito de Nepeña en los últimos tres años.

En la presente investigación la lámina de riego (LB) en base a los modelos agroclimatológicos de Thornthwaite y Hargreaves, usando como eficiencia de aplicación de 90% (0,90), es de 12,727 m³/Ha en promedio; y lo que se ha aplicado de lámina de riego en los bloques en estudio en promedio ha sido de 13,324.23 m³/Ha ósea una cantidad mayor de 527.13 m³/Ha (4,7% superior).

En el cuadro N°17 se puede observar por cada lote analizado, la cantidad de agua aplicada por un sistema de riego por goteo en m³/Ha y las producciones de caña de azúcar en Tn/Ha por campaña

Cuadro 17: Cantidad de agua en promedio aplicado por un sistema de riego por Goteo en m³/Ha y las producciones en promedio de caña de azúcar en Tn/Ha por campaña

Lote	Volumen promedio de agua aplicado por Goteo m³/Ha	Volumen promedio de producción de caña de azúcar en Tn/ha
010	13,627.41	147.50
020	13,365.00	161.04
030	13,310.28	145.00
Promedio	13,324.23	151.18

Como se puede observar en el cuadro N°17 sobre todo en los lotes N°010 y N°030, es posible que el campo se esté dando que a medida que el volumen de agua crece la producción crece, lo que se induce una correlación lineal positiva; la misma que necesita su corroborada en el cálculo del coeficiente lineal de Pearson.

4.1.4.2. Relación entre los volúmenes de agua aplicados por Gravedad surcos con la producción por hectárea de caña de azúcar en el distrito de Nepeña en los últimos tres años.

Con respecto a este sistema de riego el promedio de agua aplicado al fundo Palenque, y para sus tres bloques de riego fue de 17,636.16 m³/Ha; y la lámina estimada con los modelos agroclimatológicos de Thornthwaite y Hargreaves fue de 19,023 m³/Ha utilizando una eficiencia de aplicación por surcos de 60% (0,6); por tanto 1,386.84 m³/Ha menos que los modelos agroclimatológicos indicaban (7,8% menos).

En el cuadro N°18 se puede observar por cada lote analizado la cantidad de agua aplicado por un sistema de riego por gravedad – surcos en m³/Ha y las producciones de caña de azúcar en Tn/Ha por campaña.

Cuadro 18: Cantidad de agua en promedio aplicado por un sistema de riego por Gravedad – surcos en m³/Ha y las producciones en promedio de caña de azúcar en Tn/Ha por campaña

Lote	Volumen promedio de agua aplicado por Gravedad – surcos m³/Ha	Volumen promedio de producción de caña de azúcar en Tn/ha
010	16,175.18	200.00
020	16,927.03	176.10
060	19,806.27	185.15
Promedio	17,636.16	187.10

Como se puede ver en el cuadro N°18 sobre todo en los lotes N°060 y N°020, es posible en campo se esté dando una situación que a medida que se aplica más agua las producciones son mayores, lo que se induce una correlación lineal positiva, la misión que necesita corroborarse con el cálculo del coeficiente correlación lineal de Pearson.

Así mismo los cuadros N°17 y N°18 indican que a más agua mayor producción con 13,324.23 m³/Ha de volumen de agua promedio aplicado por riego por goteo al fundo Palenque se obtiene una producción promedio de caña de azúcar de 151.18 Tn/Ha; en cambio para un promedio de 17,636.16 m³/Ha de agua aplicada por riego por gravedad – surco, se obtiene un 187.10 Tn/Ha.

Bajo estas condiciones se presenta el cuadro N°19 en el cual se organiza los volúmenes de agua aplicada, las producciones de caña de azúcar y poder analizar la correlación lineal.

Cuadro 19: Volúmenes de agua aplicados y producción de caña de azúcar en el distrito de Nepeña en los últimos tres años

Volumen de agua – m³/Ha	Producción de caña – Tn/Ha
19,806.27	185.15
16,927.03	176.10
16,175.18	200.00
13,627.41	147.50
13,365.00	161.04
13,310.28	145.00

4.1.4.3. Correlación lineal de Pearson y evaluar la relación entre los volúmenes de agua aplicados y la producción de caña de azúcar en el distrito de Nepeña en los últimos tres años.

El coeficiente de correlación lineal de Pearson viene representado por la fórmula:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}}$$

Donde:

n = número de datos

x = variable independiente

y = variable dependiente

r = coeficiente de correlación lineal de Pearson

El valor de r varía entre – 1 y 1 siendo la interpretación siguiente:

- Cuanto más se aproxima "r" a cero más débil es la relación lineal.
- Los valores de "r" positivos indican una correlación positiva, en los que, los valores de ambas variables tienden a incrementar juntos.
- Los valores de "r" negativos indican una correlación negativa en la que los valores de una variable tienden a incrementarse mientras que los valores de la otra variable descienden.
- Los valores de 1 y – 1 representan una correlación "perfecta" positiva y negativa respectivamente.

Cuadro 20: Calculo de "r" coeficiente de correlación lineal de Pearson

N	X (Volumen de agua - m3/Ha)	Y (Producción de caña - Tn/Ha)	xy	x ²	y ²
1	13310.28	145.00	1929990.60	177163553.68	21025.00
2	13365.00	161.04	2152299.60	178623225.00	25933.88
3	13627.41	147.50	2010042.98	185706303.31	21756.25
4	16175.18	200.00	3235036.00	261636448.03	40000.00
5	16927.03	176.10	2980849.98	286524344.62	31011.21
6	19806.27	185.15	3667130.89	392288331.31	34280.52
Σ	93211.17	1014.79	15975350.05	1481942205.95	174006.86

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}}$$

$$r = 0,01572$$

En el cuadro N°20 se observa el análisis de correlación, obteniéndose un "r" de 0,01572; un valor cercano a cero y positivo lo que nos indica una correlación lineal débil, pero si el volumen de agua aumenta la producción de caña de azúcar aumenta.

4.2. Discusiones

4.2.1. Determinación de las láminas de riego para los sistemas de riego y gravedad en la zona de estudio en base a modelos agroclimáticos.

En la presente investigación se usará los modelos agroclimatológicos de Thornthwaite y Hargreaves, habiéndose obtenidos una lámina bruta promedio de riego para un riego por goteo y con 0,90 (90%) de eficiencia de aplicación, de 12,727 m³/Ha; y para un riego por gravedad – surcos con una eficiencia de aplicación de 0,60 (60%) de 19,023 m³/Ha; valores estos ligeramente inferiores que Guanopatin, M.B. (2015) que aplico 27,498 m³/Ha en riego por gravedad y 15,758 m³/Ha en riego por goteo; pero las producciones también aumentaron en 34 Tn/Ha de caña de azúcar concluyendo que el agua contribuye de manera positiva en la productividad de la caña de azúcar; el volumen de agua aplicado en un sistema de riego por goteo en el valle de Chicama fue, según Pinillos, C.M (2010) de 12,527 m³/Ha/año dato este muy similar al obtenido en la presente investigación 12,727 m³/Ha/año.

4.2.2. Cuantificación de los volúmenes de agua aplicados en los últimos 3 años de tres lotes de caña de azúcar en el distrito de Nepeña; por riego por goteo y gravedad.

En la presente investigación en un sistema de riego por goteo se aplicó un promedio de 13,434.23 m³/Ha; y para un riego por gravedad fue de 17,636.16 m³/Ha en promedio; volúmenes ligeramente inferiores a los obtenidos por Guanopatin, M. B. (2015) que obtuvo 15,758 m³/Ha en un sistema de riego por gravedad; pero superior que Gonzales, F. et al (2020) en un sistema de

fertiriego que utilizado 10,003 m³/Ha; y Viera. J.C; Amaya, L.A. (2019) que utilizo 14,300 m³/Ha/campaña para un riego localizado de goteo.

4.2.3. Cuantificación de los volúmenes de producción de caña de azúcar en los últimos 3 años de tres lotes del distrito de Nepeña.

El investigador Guanopatin, M.R. (2015) en su investigación concluyó "El agua contribuye de manera positiva en la productividad del cultivo de caña de azúcar ósea a más agua mayor productividad y tan es así que observa aumentar hasta de 34 Tn/Ha; lo que se corrobora en la presente investigación que a mayor cantidad de agua aplicada al cultivo de caña la productividad es mayor (Goteo con 13,434.23 m³/Ha de promedio de agua se obtuvo un promedio de 151,18 Tn/Ha; y gravedad con 17,636.16 m³/Ha de promedio de agua se obtuvo un promedio de 187310 Tn/Ha; superior en 23,76% la producción). Las producciones obtenidas en la presente investigación son superiores a las obtenidas por el investigar. Campos, F. (2002) que fue de 180.2 Tn/Ha en un riego por gravedad; superior a las investigaciones del MINAG (2002) que en promedio obtuvo 127.63 Tn/Ha; y muy superior al investigador Zarate, H. (2016) que llegó a un rendimiento promedio de 88.10 Tn/Ha.

4.2.4. Relación entre los volúmenes de agua aplicados por goteo y gravedad con la producción por hectárea de caña de azúcar en el distrito de Nepeña en los últimos 3 años.

En la presente investigación con la finalidad de poder determinar la relación que existe entre los volúmenes de agua aplicada y las producciones de caña de azúcar obtenida se empleó el coeficiente de correlación de Pearson, teniendo como base que el agua contribuye de manera positiva en la productividad del cultivo de caña de azúcar (Guanopatin, M. B. 2015), se obtuvo un coeficiente de correlación $r = 0,01572$, acercándose a cero lo que nos indica una relación débil entre los volúmenes de agua aplicado y los niveles de productividad obtenidos; pero "r" positivo indicando que ambas variables tienden a aumentar juntas.

5. CONCLUSIONES

1. Con el uso de los modelos agroclimatológicos de Thornthwaite y Hargreaves las láminas brutas de riego promedios fueron: Para riego por goteo 12,727 m³/Ha con una eficiencia de aplicación del 90%; y para el riego por gravedad surcos es de 19,023 m³/Ha con un 60% de eficiencia de aplicación.
2. El volumen de agua aplicado promedio fue de 13,434.23 m³/Ha para un riego por goteo; y 17,636.16 m³/Ha para un riego por gravedad – surcos.
3. El volumen de producción de caña de azúcar promedio para un riego por goteo fue de 151.18 Tn/Ha; usando 13,434.23 m³/Ha de volumen de agua promedio en el fundo Palenque con suelo arenoso – franco en el valle de textura de Nepeña.
4. El volumen de producción de caña de azúcar promedio para un riego por gravedad fue de 187.10 Tn/Ha; usando 17,636.16 m³/Ha de volumen de agua promedio en el fundo Palenque con suelo de textura Franco – Arenoso en el valle de Nepeña.
5. La relación entre los volúmenes de agua aplicados y la producción de caña de azúcar es débil con un coeficiente de correlación de Pearson $r = 0,01572$; pero positiva lo que se demuestra una relación directa de estas variables, mayor cantidad de agua mayor producción.

6. RECOMENDACIONES

1. En próximas investigaciones usar otros modelos agroclimatológicos para estimar las láminas brutas de riego y que consideren aparte de las variables temperatura y radiación, variables como velocidad del viento, factor suelo, factor planta, factor estación del año, vapor de agua, y/o métodos directos (Lisímetro).
2. En próximas investigaciones se debe considerar análisis de suelos con mayor rigurosidad.
3. Se debe en lo posible tener datos de volúmenes de agua aplicados por mes y por año.
4. A fin de corroborar la relación, directa entre las variables volumen de agua y volumen de producción de deben plantear investigaciones con diseños de campo más rigurosos con diseño completamente randomizado en 3 tratamientos u otros.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ascencios, D. (2013).** Riego tecnificado en el cultivo de caña de azúcar. Guía técnica – UNALM – Lima – Perú.
- Cadena productiva de la caña de azúcar, (2015).** MinAgricultura y desarrollo rural – Colombia (<https://sioc.minagricultura.gov.co>)
- Calle, V. Unsihuay, F. (s/f).** Meteorología General – Universidad Nacional Agraria la Molina – Facultad de Ciencias – Departamento de Ingeniería Ambiental física y Meteorología.
- Campos, F (2002)** “Informe del cultivo de la caña de azúcar. UOPE Dirección agraria de San Martín.
- Carrasco, S. (2019).** Metodología de la investigación científica – Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación – Editorial San Marcos – Lima.
- COAZUCAR** – Corporación azucarera del Perú S.A. San Jacinto 2023.
- Córdova, F. (2013).** Principios fundamentales del riego por gravedad en el cultivo de caña de azúcar. Ecuador.
- Díaz L.L.; Portocarrero, E.T. (2002).** Manual de producción de caña de azúcar (Saccharum officinarum L). Honduras.
- Figuroa, L. R. (2014).** MANUAL CAÑERO.
- FOASTAT. It (2002).** Datos agrícolas: cultivos primarios, caña de azúcar (en línea). Roma It. Consulado 22 Sep 2022.
- Fuentes, J. L. (1998).** Técnicas de riego – Tercera Edición. Edición Mundi – Prensa – Madrid – España.
- Garay, C.O. (2009).** Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos. INIA. Huancayo.
- Guanopatín, M. B. (2015).** Lineamientos estratégicos para la determinación al Canon de aprovechamiento de agua en Nicaragua: el caso del cultivo de la caña de azúcar. Mónica Belén. Tesis de maestría. CATIE – Turrialba (Costa Rica).

<https://cdn.www.gob.pe> (30.11.24).

[https://es.wikipedia.org/wiki.c](https://es.wikipedia.org/wiki/c) (19.11.24).

<https://www.gob.mx-uploads-file>.

MIDAGRI (2008). La Producción Mundial de caña de azúcar.

MIDAGRI – ANA – ALA – SANTA Lacramarca (2009). Estudio Hidrológico de la Cuenca del río Nepeña.

MIDAGRI (2022). DGESEP – DEIA. Nota técnica de coyuntura económica agraria/Nº 004-2022-MIDAGRI.

MINAG, (2002). Boletín técnico, sobre la situación actual de la caña de azúcar. Lima – Perú.

MINAG-OEEE-DGCA-DJA – Lima – Perú.

Montalvo, W. (2013). Criadero José Antonio. Recuperado el 04.12.24 de https://criaderojoseantonio.blogspot.cm/p/blog-page_5.html.

Peña, M. (1997). Propagación in vitro de la caña de azúcar. Tesis. Ing. Agr. Honduras, Zamorano, 39 p.

Pinillos, C. M. (2010). Programación de riego por gravedad a través de un método analítico en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el campo Medanos 1A1 (95.23 Há.) en la Empresa Agraria Chiquitoy, Valle Chicama. Tesis. Universidad nacional de Trujillo.

Pino, R. (2013). Metodología de la Investigación. Segunda Reimpresión. Editorial San Marcos E.I.R.L. – Lima – Perú.

Rodríguez, R. (2019). Comparación del sistema de riego por aspersión y gravedad en los componentes de rendimiento, germinación y macollamiento en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) variedad H328560 en la zona de POMALCA - Chiclayo – 2018. Tesis. Universidad nacional Pedro Ruiz Gallo.

Selles Van Sch. G; Zúñiga, E.C. (2012). Uso de lisímetros de balance hídrico para la determinación del coeficiente de cultivo en (Kc) en uva de mesa Thompson Seedless.

Tapia, L. M. (2004). El fertirriego por goteo en caña de azúcar: Tecnología para aumentar el rendimiento y eficientar el uso del agua y los fertilizantes. Centro de investigación regional de Pacífico Centro Campo Experimental URUAPAN. Midroacan. México.

- Tejada, J. (2013).** Manejo integrado en el cultivo de caña de azúcar – Guía técnica – Agrobanco.
- Torres, E. (1983).** Agrometeorología – Primera Edición Editorial Thana – México.
- Valverde, J. C. (2021).** Guía técnica – Gestión integral del recurso hídrico en un sistema productivo, Sistema de recolección de agua y uso eficiente del riego – San José de Costa Rica.
- Vásquez et al (2017).** Fundamentos de la Ingeniería de riego. Q y P Impresores S.R.L. Primera Edición. Universidad Agraria La Molina Lima.
- Vásquez, A. et al. (2017).** Fundamentos de la Ingeniería de Riegos – Universidad Agraria la Molina – Primera Edición – Lima – Perú.
- Viera, J.C.; Amaya, L.A. (2019).** Cálculo de los requerimientos hídricos para el cultivo de caña de azúcar y ajuste del Kc utilizando imágenes satelitales Sentinel – 2 en el distrito de Cayalti, Lambayeque. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo – Lambayeque – Perú.
- Zárate, H. (2016).** Adaptabilidad de 12 variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L), en el centro poblado Naranjo Yacu, distrito de Santo Domingo de la capilla – Cutervo – 2014 – 2015. Tesis. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo – Escuela Profesional de Agronomía – Lambayeque.

ANEXOS

**Anexo 1: Volúmenes de agua aplicados y producciones de caña de estudio en
Fundo Palenque, por goteo y gravedad surco**

PALENQUE GOTEO - LOTE 010								
AÑO	MES	TON. CAÑA	AREA (Ha)	EDAD COS	TCH	TCHM	% SAC	M3 ha
2021	8	1097.55	8.41	15.685681	130.505351	8.32003092	12.9754182	14,610.50
2022	12	1453.59	8.41	15.7567768	172.840666	10.9692908	13.473771	14,476.47
2024	1	1253.98	8.41	13.4379175	149.105826	11.0959028	11.5214022	11,794.96
TOTAL		3,805.12	25.23	14.96	150.82	10.13	12.66	13,627.31

PALENQUE GOTEO - LOTE 020								
AÑO	MES	TON. CAÑA	AREA (Ha)	EDAD COS	TCH	TCHM	% SAC	M3 ha
2021	8	1380.78	8.85	15.5729049	156.020339	10.018705	12.7936837	14,610.50
2022	12	1571.91	8.9	15.8136969	176.619101	11.168742	13.633	14,081.02
2024	1	1401.52	8.9	13.2821903	150.47	11.34	12.9	11,403.49
TOTAL		4,354.21	26.65	14.89	161.04	10.84	13.11	13,365.00

PALENQUE GOTEO - LOTE 030								
AÑO	MES	TON. CAÑA	AREA (Ha)	EDAD COS	TCH	TCHM	% SAC	M3 ha
2021	8	859.39	7.48	15.5506832	114.891711	7.38820987	12.859	14,610.50
2022	12	1370.38	7.47	15.8149284	183.451138	11.5998716	13.5473635	14,137.46
2024	2	1019.65	7.47	13.3153011	136.499331	10.2513138	13.4902794	11,182.88
TOTAL		3,249.42	22.42	14.89	144.95	9.75	13.30	13,310.28

AÑO	Año de la cosecha
MES	Mes de la cosecha
TON. CAÑA	Tonelada de caña total
AREA (Ha)	Area cosechada
EDAD COS	Edad del cultivo cuando fue cosechado
TCH	Toneladad de Caña por Hectarea
TCHM	Tonelada de caña por Hectarea Mensual
% SAC	% Sacarosa
M3 ha	Metros cubicos de agua aplicados por hectareas en el cultivo durante la campaña

PALENQUE GRAVEDAD - LOTE 010								
AÑO	MES	TON. CAÑA	AREA (Ha)	EDAD COS	TCH	TCHM	% SAC	M3 ha
2019	12	1595.83	7.01	19.18	227.65	12	13.19	17,075.61
2022	9	1570.24	7.01	15.72	224.00	14	13.31	15,180.60
2024	1	1225.5	7.01	16.20	174.82	11	10.06	16,269.33
TOTAL		4,391.57	21.03	17.03	208.82	12.30	12.19	16,175.18

PALENQUE GRAVEDAD - LOTE 020								
AÑO	MES	TON. CAÑA	AREA (Ha)	EDAD COS	TCH	TCHM	% SAC	M3 ha
2021	8	3090.67	14.13	19.53	218.73	11.20	12.99	18,400.00
2022	9	2028.05	13.34	13.05	152.03	11.65	13.36	14,375.71
2023	12	2101.43	13.34	15.27	157.53	10.31	13.18	18,005.40
TOTAL		7,220.15	40.81	15.95	176.10	11.05	13.18	16,927.04

PALENQUE GRAVEDAD - LOTE 060								
AÑO	MES	TON. CAÑA	AREA (Ha)	EDAD COS	TCH	TCHM	% SAC	M3 ha
2021	6	2938.93	12.59	17.13	233.43	13.63	12.32	17,698.29
2022	10	2126.64	12.13	16.72	175.32	10.49	14.23	22,184.67
2024	1	1779.54	12.13	14.68	146.71	9.99	11.90	19,535.86
TOTAL		6,845.11	36.85	16.18	185.15	11.37	12.82	19,806.27

AÑO	Año de la cosecha
MES	Mes de la cosecha
TON. CAÑA	Tonelada de caña total
AREA (Ha)	Area cosechada
EDAD COS	Edad del cultivo cuando fue cosechado
TCH	Toneladad de Caña por Hectarea
TCHM	Tonelada de caña por Hectarea Mensual
% SAC	% Sacarosa
M3 ha	Metros cubicos de agua aplicados por hectareas en el cultivo durante la campaña

Anexo 2: Variables meteorológicas en estación "Juan Díaz " (2024)

ESTACIÓN	AÑO	DESCRIPCIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
JUAN DIAZ	2024	T° MAX (°C) 2024	28.28	30.16	28.70	26.80	22.60	21.70	20.80	20.70	21.30	22.30	23.70	25.30
JUAN DIAZ	2024	T°MIN (°C) 2024	20.36	21.53	20.01	18.60	15.70	14.40	13.80	13.60	13.80	14.90	15.50	16.90
JUAN DIAZ	2024	H.R. (%)	83.00	80.05	83.38	85.20	91.65	90.65	90.70	90.49	90.87	90.30	86.61	86.19
JUAN DIAZ	2024	VEL. MAX PROM (Km/h)	23.20	25.62	25.74	24.11	21.97	19.57	15.90	5.64	19.72	20.85	20.79	20.59
JUAN DIAZ	2024	LLUVIA PROMEDIO (mm)	1.00	0.40	1.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JUAN DIAZ	2024	ET. (mm)	4.40	4.73	4.43	3.75	2.55	-	0.57	2.72	3.10	3.62	3.65	3.82
JUAN DIAZ	2024	T° MAX (°C)-Prom 10 últ. Años	27.3	28.4	28.7	26.6	24.8	22.7	21.6	21.4	21.8	22.6	23.5	25.6
JUAN DIAZ	2024	T° MAX (°C) 2022	26.60	26.49	28.00	24.30		21.00	19.80	20.10	19.90	20.60	22.60	25.70
JUAN DIAZ	2024	T° MAX (°C) 2023	26.59	28.24	29.20	29.50	26.90	26.30			24.30	24.80	24.60	26.10
JUAN DIAZ	2024	T° MIN (°C)-Prom 10 últ. Años	18.86	19.97	19.86	17.73	16.69	15.29	14.10	13.69	14.04	14.21	14.66	17.01
JUAN DIAZ	2024	T°MIN (°C) 2022	19.81	19.89	20.30	17.30		11.80	12.40	13.40	13.20	12.90	14.00	16.90
JUAN DIAZ	2024	T°MIN (°C) 2023	17.95	20.69	21.70	22.10	19.40	18.50			16.50	16.80	16.20	18.70
JUAN DIAZ	2024	PROM ET. (mm)	4.01	4.11	4.03	3.53	2.75	2.10	1.90	2.31	2.95	3.17	3.44	3.66
JUAN DIAZ	2024	ET. (mm) 2022	3.81	3.78	4.05	3.50		1.60	2.28	2.72	2.94	3.51	3.66	4.13
JUAN DIAZ	2024	ET. (mm) 2023	4.50	4.53	4.40	3.94	3.89	2.45				3.53	3.44	3.72
JUAN DIAZ	2024	PROM OSCILACIÓN												
JUAN DIAZ	2024	OSCILACIÓN 2022	6.80											
JUAN DIAZ	2024	PROM H.R. (%)												
JUAN DIAZ	2024	H.R. (%) 2022	76.67											
JUAN DIAZ	2024	PROM VEL. MAX PROM (Km/h)	15.7	15.4	15.4	12.6	10.7	11.1	11.4	12.0	13.2	14.1	14.7	15.6
JUAN DIAZ	2024	VEL. MAX PROM 2022 (Km/h)	17.29											
JUAN DIAZ	2024	OSCILACIÓN	7.90	8.60	8.50	8.20	6.90	7.30	7.20	7.12	7.48			

Anexo 3: Variables meteorológicas en estación " Juan Díaz " (2023)

ESTACIÓN	AÑO	DESCRIPCIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
JUAN DIAZ	2023	T° MAX (°C)	26.59	28.24	29.20	29.50	26.90	26.30			24.30	24.80	24.60	26.10
JUAN DIAZ	2023	T°MIN (°C)	17.95	20.69	21.70	22.10	19.40	18.50			16.50	16.80	16.20	18.70
JUAN DIAZ	2023	H.R. (%)	81.80	84.11	82.57	81.42	84.36	85.67			85.67	86.91	85.72	85.14
JUAN DIAZ	2023	VEL. MAX PROM (Km/h)	24.00	23.07	21.11	20.74	19.83	17.43			19.60	19.56	19.30	20.75
JUAN DIAZ	2023	LLUVIA PROMEDIO (mm)	1.20	2.60	6.40	-	-	-			-	-	-	0.20
JUAN DIAZ	2023	ET. (mm)	4.50	4.53	4.40	3.94	3.89	2.45				3.53	3.44	3.72
JUAN DIAZ	2023	PROM T° MAX (°C)	27.3	28.4	28.7	26.6	24.8	22.7	21.6	21.4	21.8	22.6	23.5	25.6
JUAN DIAZ	2023	T° MAX (°C) 2022	26.60	26.49	28.00	24.30		21.00	19.80	20.10	19.90	20.60	22.60	25.70
JUAN DIAZ	2023	PROM T° MIN (°C)	18.86	19.97	19.86	17.73	16.69	15.29	14.10	13.69	14.04	14.21	14.66	17.01
JUAN DIAZ	2023	T°MIN (°C) 2022	19.81	19.89	20.30	17.30		11.80	12.40	13.40	13.20	12.90	14.00	16.90
JUAN DIAZ	2023	PROM ET. (mm)	4.01	4.11	4.03	3.53	2.75	2.10	1.90	2.31	2.95	3.17	3.44	3.66
JUAN DIAZ	2023	ET. (mm) 2022	3.81	3.78	4.05	3.50		1.60	2.28	2.72	2.94	3.51	3.66	4.13
JUAN DIAZ	2023	PROM OSCILACIÓN		8.400036059	9.00188172	8.8475	8.078368121	7.455	7.446048387	7.698037634	7.925977011	8.375627042	8.796625706	8.572822581
JUAN DIAZ	2023	OSCILACIÓN 2022	6.80	6.60	7.70	7.10		9.00	7.40	6.70	6.70	7.30	8.70	8.70
JUAN DIAZ	2023	PROM H.R. (%)		80.79	80.92	84.00	86.24	87.19	87.49	87.17	86.23	84.39	84.06	84.01
JUAN DIAZ	2023	H.R. (%) 2022	76.67	74.39	71.32	81.30		85.32	88.42	88.66	88.42	87.17	85.63	83.59
JUAN DIAZ	2023	PROM VEL. MAX PROM (Km/h)	15.7	15.4	15.4	12.6	10.7	11.1	11.4	12.0	13.2	14.1	14.7	15.6
JUAN DIAZ	2023	VEL. MAX PROM 2022 (Km/h)	17.29	17.10	17.08	4.30		17.50	16.93	19.71	21.33	21.31	22.13	24.75
JUAN DIAZ	2023	OSCILACIÓN	8.60	7.50	7.50	7.40	7.50	7.80			7.80	7.90	8.40	7.40

Anexo 4: Riego por gravedad, surcos, cultivo de caña de azúcar en el Valle de Nepeña



Anexo 5: Riego por gravedad, surcos, cultivo de caña de azúcar en el Valle de Nepeña



Anexo 6: Riego a presión, goteo, cultivo de caña de azúcar en el Valle de Nepeña



Anexo 7: Riego a presión, goteo, cultivo de caña de azúcar en el Valle de Nepeña



Anexo 8: Cosecha de caña de azúcar



Anexo 9: Cosecha de caña de azúcar



Anexo 10: Cosecha de caña de azúcar



Anexo 11: Fotografía panorámica de campo



CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

El que suscribe **Dr. NAPOLEÓN PUÑO LECARNAQUÉ**, profesor principal de la universidad Nacional de Tumbes – Facultad de Ciencias Agrarias y Asesor del Proyecto de Tesis “Relación del riego goteo y gravedad en producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*L) – Distrito de Nepeña – Áncash 2025”.

Certifica que el citado proyecto es original e inédito, para mayor fe se firma el primer día del mes de enero de 2025.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Napoleón Puño Lecarnaqué', written over a horizontal line.

Dr. Napoleón puño Lecarnaqué

Asesor



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN**
DIRECCIÓN DE INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

DECLARACIÓN JURADA DE VERIFICACIÓN DE REPORTE DE SIMILITUD

Yo, Napoleón Puño Lecarnaqué, Docente Asesor, con N° DNI 00225904, declaro bajo juramento que haciendo uso del usuario del software Turnitin que me ha proporcionado la UNTUMBES, he procedido a revisar la tesis que se indica a continuación; la cual se encuentra dentro del rango permitido como porcentaje de similitud autorizado.

Escuela Profesional	
Pregrado	
Autor (es)	
N° DNI	Nombres y Apellidos
77054696	López Salinas, Emerson Miguel
00225904	Napoleón Puño Lecarnaqué
Título de la Tesis	
Relación del riego goteo y gravedad en producción de caña de azúcar (<i>Saccharum officinaru L</i>) – Distrito de Nepeña – Áncash 2025	
Porcentaje de similitud	Número de la clase
13 %	49276381

Lo que se indica cumple con lo dispuesto en los artículos 8.2 y 8.3 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI), que señala que la universidad debe contar con medidas para proteger la propiedad intelectual.

Tumbes, 05 de agosto de 2025


Firma de Asesor