

Evapotranspiración y requerimientos de agua para la programación de riego de los cultivos *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) “caña de azúcar”, *Zea mays* L. (Poaceae) “maíz” y *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) “espárrago” en el valle Chicama, Perú

Evapotranspiration and water requirements for crop irrigation scheduling of *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) “sugar cane”, *Zea mays* L. (Poaceae) “corn” and *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) “asparagus” in Chicama valley, Peru

Mayra Karelly García Huatay

Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, PERÚ

Ana Marlene Guerrero Padilla

Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, PERÚ

mguerrero@unitru.edu.pe

Carlos Francisco Cabrera Carranza

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, PERÚ

ccabrerac@unmsm.edu.pe



Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la evaporación y requerimientos de agua para la programación de riego de los cultivos *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) “caña de azúcar”, *Zea mays* L. (Poaceae) “maíz” y *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) “espárrago” en el valle Chicama, Perú. Se consideraron las comisiones de regantes de Ascope, Paiján, La Pampa, Magdalena de Cao y Yalpa, Santiago de Cao y Sausal. El consumo de agua para uso agrícola fue 577 534 295.64 m³ empleadas en riego de 648 253.22 ha en el valle Chicama. Los requerimientos hídricos y programación de riego de los cultivos, volúmenes de agua por hectáreas, según análisis de correlación de Pearson fue ($r > 0.60$, $p < 0.05$), obteniéndose una correlación significativa en las comisiones de regantes. Las comisiones de riego Ascope, Paiján, Magdalena de Cao y Yalpa, y Santiago de Cao presentaron mayores áreas cultivadas, en consecuencia, mayor consumo de agua. La comisión de regantes La Pampa presentó menor área cultivada, lo que generó menor consumo de agua. Además se encontró una relación negativa en la comisión de regantes Sausal.

Palabras clave: *Saccharum officinarum* L., *Zea mays* L. y *Asparagus officinalis* L., valle Chicama.

Abstract

This study was to assess evapotranspiration and water requirements for crop irrigation scheduling of *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) “sugar cane”, *Zea mays* L. (Poaceae) “corn” and *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) “asparagus” in the Chicama Valley, Peru, considering the irrigation commissions of Ascope, Paiján, La Pampa, Magdalena de Cao and Yalpa, Santiago de Cao and Sausal. Water consumption for agricultural use was 577 534 295.64 m³ employed in irrigation of 648 253.22 ha in the Chicama Valley. The water requirements and crop irrigation scheduling, water volumes per hectare, according to Pearson’s correlation analysis was ($r > 0.60$, $p < 0.05$), obtaining a significant correlation in the irrigation commissions. Irrigation commissions of Ascope, Paiján, Magdalena de Cao and Yalpa, and Santiago de Cao had larger cultivated areas, consequently, more water consumption. The irrigation commission of La Pampa had smaller cultivated area, which resulted in lower water consumption. In addition, a negative relationship in the commission of irrigators of Sausal was found.

Key words: *Saccharum officinarum* L., *Zea mays* L., *Asparagus officinalis* L., Chicama valley

Citación: García, M.; A. Guerrero & C. Cabrera. 2019. Evapotranspiración y requerimientos de agua para la programación de riego de los cultivos *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) “caña de azúcar”, *Zea mays* L. (Poaceae) “maíz” y *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) “espárrago” en el valle Chicama, Perú. 26 (2): 793-814 <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26218>

Introducción

En el Perú se presentan condiciones agronómicas de la costa presentan condiciones excepcionales tanto por sus características de clima (invernadero natural) como por sus suelos ricos en nutrientes, hacen viables el desarrollo de diversos cultivos (Anicama, 2008). Referente al desarrollo de los valles de la costa peruana está supeditado a muchos factores, uno de ellos es el recurso hídrico, el cual es indispensable para el desarrollo agrícola y hu-

mano, este recurso es muy limitado puesto que los ríos presentan poco caudal el cuál no cubre la demanda agrícola. El cambio climático está alterando las condiciones climatológicas a nivel mundial, modificando el régimen de precipitación anual y la temperatura. En términos generales, el valle del río Chicama, el evento El Niño trae consecuencias de altas precipitaciones en la zonas altas de la cuenca, inundaciones en las zonas agrícolas, aumento de la evaporación en la zona de la costa por la intensa radiación solar, oscilación de tem-

peraturas (Cortés, 2010).

Con respecto a la cédula de cultivo, esta se define como la distribución de los cultivos en el transcurso del año, de acuerdo a los factores: climatológicos, técnicos, rentabilidad, capacidad económica del agricultor y tamaño de la unidad agrícola entre otros; como resultado la combinación de los cultivos para la estructuración de las cédulas de cultivos tiene en cuenta las fechas de siembra y cosecha, el período vegetativo y el tipo de cultivo. De tal modo la cédula de cultivos promedio de la cuenca del río Chicama y de cada comisión de riego se ha definido según la información proporcionada por el ALA Chicama, Autoridad Nacional del Agua (ANA) y obtenida en base a trabajos de campo (Junta de Usuarios de Agua del Valle Chicama, 2017).

El uso del agua en la cuenca del río Chicama asciende a los 280,40 millones de metros cúbicos representada por los sectores agrícola, poblacional, minero y pecuario; de los cuales el uso agrícola es la que demanda mayor cantidad de agua, no es significativo el uso del agua para fines mineros, los usos menores son el industrial, poblacional y pecuario. Además en la actividad agrícola, el uso del agua con fines de riego se centra principalmente en la zona del valle para abastecer a los cultivos de *Saccharum officinarum* L. "caña de azúcar", *Zea mays* L. "maíz", *Medicago sativa* L. "alfalfa", *Cicer arietinum* L. "garbanzo", *Phaseolus vulgaris* L. "frijol" entre otros, empleándose con fines de riego 260,453 ha, correspondiéndole el 74,6% al sector costero que sirve para irrigar 41,913 ha de un total de 55,198 ha cultivadas bajo riego (Junta de Usuarios de Agua del Valle Chicama, 2017). La cuenca en estudio es una de las más importantes en la zona del norte del país, irriga grandes áreas

como Casa Grande, Cartavio, Sintuco, Chiquitoy, Roma, Chiclin; y extensiones de agricultores individuales en Paján, Chocope, Ascope y Cascas en Gran Chimú, así como las provincias de Contumazá y Cajamarca (Instituto Nacional de Recursos Naturales, 2003).

Saccharum officinarum L. (Poaceae) "caña de azúcar" es considerada como uno de los principales cultivos agroindustriales en el Perú, debido a sus derivados principalmente azúcar y etanol, además la producción está concentrada en el norte del país, siendo La Libertad con mayor producción, con una participación del 50,5 %. La principal zona de cultivo se encuentra en el valle Chicama y Santa Catalina donde se ubican importantes empresas productora de azúcar como Casa Grande S. A., seguida por Cartavio S. A. y Agroindustrial Laredo S. A. (Ministerio de Agricultura, 2013). *Saccharum officinarum* L. "caña de azúcar" es considerada una de las plantas más eficientes en el uso de agua tal como lo indica Viveros (2011) lo que genera alta producción en la industria azucarera debido a que presenta una amplia variabilidad y capacidad de adaptación cuando es sometida a condiciones desfavorables de clima, de manejo y de suelo (Aguilar, 2015). Con respecto a sus fases fenológicas, dependen de los factores ambientales propios de la zona a cultivar y se clasifican en cuatro etapas: emergencia y establecimiento de la población inicial de tallos, macollaje y cierre del cultivo, crecimiento y desarrollo, maduración y cosecha (Vera, 2013; Aguilar, 2015).

Zea mays L. (Poaceae) "maíz" constituye uno de los principales cultivos a nivel mundial. En el Perú es un cultivo importante, ya que sirve como materia prima en la elaboración de alimento para aves y cerdos (Ministerio de Agricultura,

2003; Ministerio de Agricultura, 2012; Chura & Tejada, 2014). *Zea mays* L. “maíz” se localiza principalmente en los valles de Chicama, Jequetepeque y Virú, debido a las buenas condiciones climáticas que presentan estos valles, es propicio que se realice la siembra durante todo el año (Injante & Joyo 2010). Según el manual de observaciones fenológicas del SENAMHI (Yzarra & López 2012), comprende las fases de emergencia, aparición de hojas, panoja, espiga y maduración.

En cuanto al cultivo de *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) “espárrago” las principales zonas de producción se ubican en la costa, en los departamentos de La Libertad, Ica y Lima, debido a las características del clima y suelo que presenta. Además este cultivo es considerado como el principal producto agrícola de exportación del departamento de La Libertad, asimismo es un producto bandera y se encuentra en los valles de Chao, Virú, Moche y Chicama (Anicama, 2008; Ministerio de Agricultura, 2015). En referencia al desarrollo fenológico del cultivo, comprende las fases de brotamiento, ramificación, floración, fructificación, maduración y formación de turiones (Yzarra & López, 2012).

Respecto a los requerimientos de agua por los cultivos, el programa CROPWAT, permite simular programas de riego de campo en condiciones de déficit hídrico debido a la contaminación y la presión que presenta el recurso hídrico en la actualidad, lo cual sugiere la reducción de la evapotranspiración en una o varias etapas del cultivo y valorar cual es la mejor opción en función de la disminución de rendimiento y la disponibilidad del recurso hídrico (Allen *et al.*, 2006), otra opción, es precisamente cuando el programa define la época en la cual se aprovecha mejor

la precipitación y detecta los periodos de sequía, con lo cual se pueden realizar estudios complementarios de riego tal como lo presenta Arteaga *et al.* (2011), (Junta de Usuarios de Agua del Valle Chicama, 2017).

Por todo lo expuesto, radica la importancia de la necesidad de realizar un estudio a largo plazo que garantice una visión más completa e integrada del significado de las actividades agrícolas asociada a los volúmenes de agua de uso agrícola y los cultivos de *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) “caña de azúcar”, *Zea mays* L. (Poaceae) “maíz” y *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) “espárrago” en el valle Chicama, Perú.

Material y métodos

Ubicación de la zona de estudio

La cuenca del río Chicama se encuentra ubicada al norte del país, entre los paralelos 7°21 y 7°59 de latitud sur y los meridianos 78°14 y 79°20 de longitud oeste (Fig. 1), el valle del río Chicama tiene 82,150 ha. área total, de las cuales 45,950 ha. corresponde área agrícola (Julca, 2011), distribuidas en los departamentos de La Libertad (provincias de Santiago de Chuco, Ascope, Otuzco (Huaranchal, Usquil y Charat) Gran Chimú y Cajamarca (Contumazá y Cajamarca) (Ministerio de Agricultura, 2010).

Nace en las alturas de las minas de Callacuyán con el nombre del río Perejil, hasta la localidad de Coina, a partir del cual toma el nombre de río Grande o Alto Chicama, aguas abajo toma el nombre de río Huancay y el nombre de río Chicama toma a partir de la hacienda El Tambo, hasta la desembocadura en el mar. Limita por el norte, con la cuenca del río Jequetepeque; por el sur, con las cuencas del río Moche y de la quebrada del río Seco; por el sures-

te, con la cuenca del río Santa; por el oeste con el Océano Pacífico y por el este, con la cuenca del río Marañón (Ministerio de Agricultura, 2010).

Evaluación de la zona de estudio

El presente estudio fue evaluado según calendario de siembra de la Junta de Usuarios de Agua del valle Chicama durante el año hídrico 2016-2017, cuya relación de los principales cultivos de la zona en estudio está en función de las descargas y consumos de agua del río Chicama (Guerrero & Florián, 2013). Se trabajó la correlación de las mismas, según comisiones de regantes (Fig. 2). Se determinó los requerimientos de agua de los cultivos de *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) “caña de azúcar” (Fig. 11a), *Zea mays* L. (Poaceae) “maíz” (Fig. 11b) y *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) “espárrago” (Fig. 11c).

Métodos

Se aplicó la metodología recomendada por la FAO de Penman-Monteith, mediante la aplicación del software CROPWAT para Windows versión 8.0 y se realizó el análisis de correlación de Pearson existente entre las cédulas de cultivo y las descargas de agua del valle Chicama, mediante el programa estadístico Minitab 16 (Allen *et al.*, 2006).

Aplicación del programa CROPWAT en el área de estudio

En la determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos, se aplicó el programa CROPWAT, versión 8.0 para Windows, cuyos procedimientos de cálculo se basaron en las directrices de Food and Agriculture Organization of the United Nations (2013).

Información climática (Información meteorológica)

Se utilizó la información reportada por la estación meteorológica Casa Grande (data del año 2016 a 2017) obtenidas con el programa CLIMWAT de la FAO.

Cédulas de cultivo y coeficiente de cultivo

Se trabajó con los cultivos de *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) “caña de azúcar” (Fig. 11a), *Zea mays* L. (Poaceae) “maíz” (Fig. 11b), *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) “espárrago” (Fig. 11c) de acuerdo a los porcentajes de hectáreas ocupadas según información de la Junta de Usuarios de Agua del valle Chicama; el coeficiente de cultivos se obtuvo de la base de datos del CROPWAT (Allen *et al.*, 2006).

Evapotranspiración Potencial

Se utilizó los datos meteorológicos de la estación Casa Grande, con valores medios mensuales de las principales variables (Tabla 3) con registros de 2016 a 2017, el cálculo de la evapotranspiración potencial se realizó mediante el método de Penman-Monteith, utilizando el software CROPWAT de la FAO, método formulado como un enfoque que incluye todos los parámetros que gobiernan el intercambio de energía y el flujo de calor (evapotranspiración) de grandes extensiones uniformes de vegetación (Allen *et al.*, 2006). La ecuación combinada de Penman-Monteith es:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

Donde R_n es la radiación neta, G es el flujo del calor en el suelo, $(e_s - e_a)$ representa el déficit de presión de vapor del aire, ρ_a es la densidad media del aire

a presión constante, c_p es el calor específico del aire, Δ representa la pendiente de la curva de presión de vapor de saturación, γ es la constante psicrométrica, y r_s y r_a son las resistencias superficial (total) y aerodinámica.

Datos del cultivo

Las características principales del cultivo para la aplicación del programa CROPWAT (Allen *et al.*, 2003; FAO, 2013), se obtuvo de la información proporcionada

por las Comisiones de Regantes del valle Chicama.

Medida del caudal del río

Se utilizó medidores de tipo Parshall y RBC en la evaluación de cada canal de derivación, obteniendo valores de los caudales diarios y la distribución de agua de la cuenca a nivel del valle Chicama, además se realizó aforos empleando un correntómetro en las diferentes estaciones de la cuenca (FAO, 2013).

Resultados



Fig. 1. Ubicación de las comisiones de regantes en el valle Chicama, Perú. (Fuente: Google Earth, 2019).

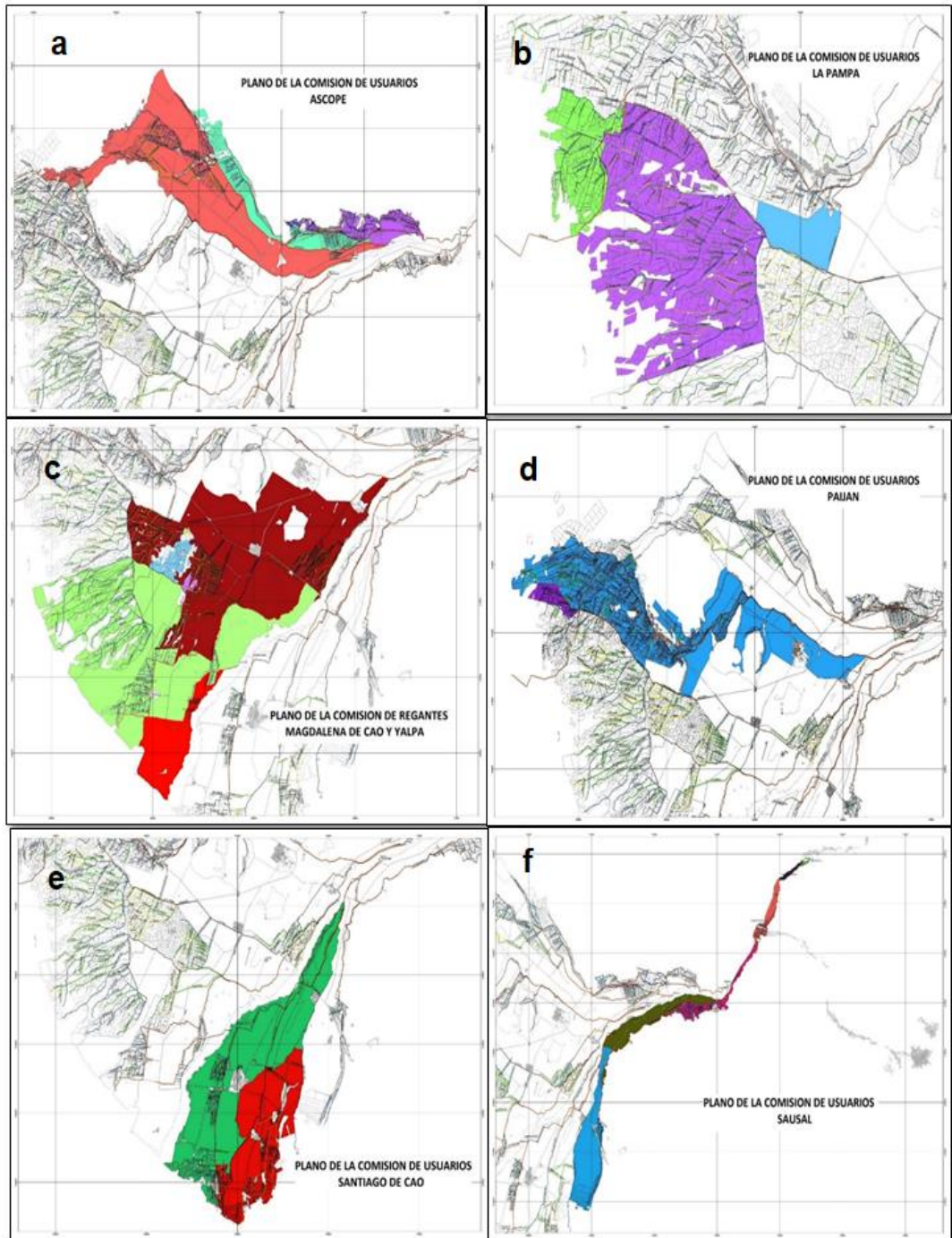


Fig. 2. Delimitación de la zona de estudio según comisión de regantes en el valle Chicama a. Ascope; b. La Pampa; c. Magdalena de Cao y Yalpa; d. Paiján; e. Santiago de Cao; f. Sausal.

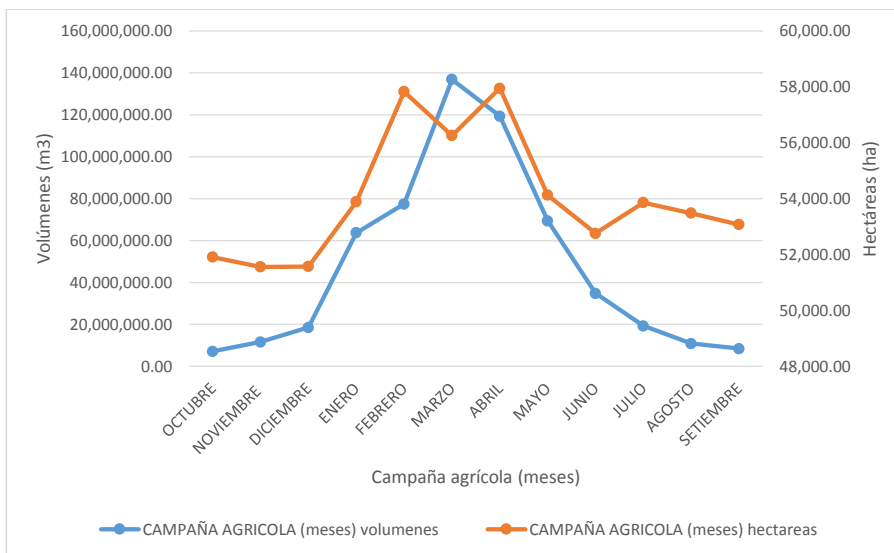


Fig. 3. Oferta hídrica (m³) y la relación al área agrícola (ha) empleada para el desarrollo de los diferentes cultivos en el valle Chicama, durante la campaña agrícola 2016-2017.

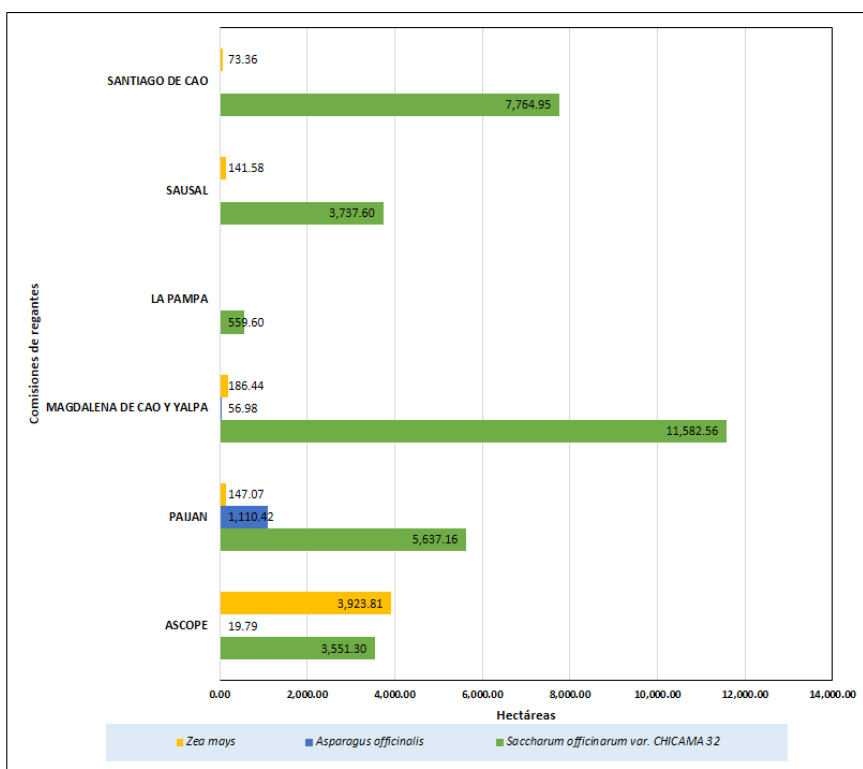


Fig. 4. Áreas ocupadas (ha) por cultivos de *Saccharum officinarum* L (Poaceae) “caña de azúcar”, *Zea mays* L. “maíz” (Poaceae) y *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) “espárrago”, según comisión de regantes en el valle Chicama, Perú.

Tabla 1. Volúmenes de agua (m³) distribuidos durante la campaña agrícola 2016-2017, según comisión de regantes en el valle Chicama-Perú

CAMPAÑA AGRICOLA (meses)	COMISIONES DE REGANTES (m ³)						
	ASCOPE	PAIJAN	LA PAMPA	MAGD-CAO Y YALPA	STG. CAO	SAUSAL	TOTAL
OCTUBRE	2,224,915.20	892,425.60	922,348.80	1,273,986.84	715,474.80	1,159,545.60	7,188,696.84
NOVIEMBRE	1,499,915.52	1,313,107.20	998,208.00	2,166,739.20	4,328,121.60	1,282,631.20	11,588,722.72
DICIEMBRE	4,185,374.26	1,846,252.80	1,103,385.60	4,600,084.58	4,000,844.16	2,822,545.40	18,558,486.80
ENERO	14,901,264.00	7,538,788.80	2,256,652.80	17,054,985.60	13,893,661.67	8,080,492.40	63,725,845.27
FEBRERO	19,419,206.40	10,726,099.20	2,823,148.80	21,214,580.20	16,059,189.60	7,165,011.20	77,407,235.40
MARZO	33,388,332.60	20,127,686.40	4,196,275.20	36,812,210.12	28,694,326.80	13,598,653.20	136,817,484.32
ABRIL	26,758,992.00	14,788,339.20	2,976,825.60	34,319,109.19	28,255,536.00	12,255,379.00	119,354,180.99
MAYO	15,268,972.80	9,109,987.20	2,256,595.20	19,570,030.80	15,910,502.40	7,303,075.20	69,419,163.60
JUNIO	3,429,534.40	5,595,436.80	1,697,529.60	11,861,683.20	8,482,667.90	3,773,097.60	34,839,949.50
JULIO	2,352,268.80	2,772,028.80	1,475,164.80	6,225,177.60	4,586,688.00	1,877,388.00	19,288,716.00
AGOSTO	1,450,425.60	1,448,576.40	1,305,763.20	2,252,160.00	2,472,249.60	1,982,770.20	10,911,945.00
SEPTIEMBRE	2,441,769.60	936,230.40	1,269,964.80	936,058.00	886,118.40	1,963,728.00	8,433,869.20
	127,320,971.18	77,094,958.80	23,281,862.40	158,286,805.33	128,285,380.93	63,264,317.00	

Tabla 2. Áreas de cultivo en hectáreas (ha) distribuidas durante la campaña agrícola 2016-2017, según comisión de regantes en el valle Chicama-Perú

CAMPAÑA AGRICOLA (meses)	COMISIONES DE REGANTES (ha)						
	ASCOPE	PAIJAN	LA PAMPA	MAGD-CAO Y YALPA	STG. CAO	SAUSAL	TOTAL
OCTUBRE	6,824.38	8,120.38	3,806.95	15,674.44	12,088.49	5,396.79	51,911.43
NOVIEMBRE	6,471.90	8,107.88	3,818.95	15,674.44	12,088.99	5,396.79	51,558.95
DICIEMBRE	6,471.90	8,103.38	3,838.95	15,674.44	12,088.99	5,396.79	51,574.45
ENERO	8,292.07	8,226.38	3,857.95	15,714.44	12,129.92	5,667.91	53,888.67
FEBRERO	10,806.21	8,427.38	4,613.95	16,031.44	12,124.74	5,821.47	57,825.19
MARZO	10,829.25	8,508.38	4,693.95	16,031.44	12,124.74	4,067.42	56,255.18
ABRIL	10,829.25	8,530.38	4,622.95	16,031.44	12,110.42	5,821.47	57,945.91
MAYO	7,569.76	8,493.38	4,226.95	16,031.44	12,079.53	5,724.05	54,125.11
JUNIO	6,711.86	8,445.38	4,119.95	15,674.44	12,084.04	5,724.05	52,759.72
JULIO	7,882.57	8,370.38	4,110.95	15,674.44	12,095.42	5,724.05	53,857.81
AGOSTO	7,871.10	8,253.38	4,129.95	15,674.44	12,088.60	5,462.13	53,479.60
SEPTIEMBRE	7,491.82	8,231.38	4,126.95	15,674.44	12,084.48	5,462.13	53,071.20
	98,052.07	99,818.06	49,968.40	189,561.28	145,188.36	65,665.05	

Tabla 3. Cálculo de la evapotranspiración para los cultivos de *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) "caña de azúcar", *Zea mays* L. (Poaceae) "maíz" y *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) "espárrago" mediante el método de Penman-Monteith, de la estación meteorológica Casa Grande, La Libertad, Perú

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETo mm/día
Enero	17.9	30.7	73	346	7.2	21	5.22
Febrero	19.1	31.5	73	311	7.4	21.5	5.34
Marzo	18.9	31.2	75	311	6.2	19.2	4.9
Abril	17.4	29.6	75	346	6.3	18.1	4.61
Mayo	15.6	27.1	76	346	5.7	15.8	3.88
Junio	14.4	25.9	79	311	5.7	15	3.35

Julio	13.8	24.6	80	311	5	14.4	3.12
Agosto	13.3	24.4	78	346	5.3	16	3.46
Septiembre	13.7	25.3	77	346	4.4	15.9	3.68
Octubre	14.2	25.9	76	380	5.8	18.7	4.2
Noviembre	14.3	26.8	76	346	5.6	18.4	4.22
Diciembre	15.6	28.6	74	380	6.2	19.3	4.73
Promedio	15.7	27.6	76	340	5.9	17.8	4.23

Tem Min; es la temperatura mínima expresada en °C.

Tem Max; es la temperatura máxima expresada en °C.

Humedad, es la humedad relativa del aire expresada en %.

Rad; es la radiación expresada en mega joule por metro cuadrado por día.

ETo; es la evapotranspiración expresado en milímetros por día.

En la tabla 3, se presentó la información climatológica que se trabajó de la estación meteorológica Casa Grande, con altitud de 157m, latitud de 7,66°S y longitud de 79,16°W. La evapotranspiración de referencia (ETo) se calculó con el método de Penman-Monteith en función a las

temperaturas máximas y mínimas, la humedad relativa media, velocidad del viento y las horas de insolación. Los valores de la ETo diario mensual variaron de 3,12 a 5,34 mm/día, con un promedio de 4,23 mm/día.

Tabla 4. Requerimientos de agua para el cultivo de *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) “caña de azúcar” en el valle Chicama, Perú.

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Diciembre	1	Inic	0.83	3.77	30.2	0.4	7.5
Diciembre	2	Inic	0.4	1.89	18.9	0.7	18.2
Diciembre	3	Inic	0.4	1.96	21.5	0.8	20.7
Enero	1	Des	0.47	2.37	23.7	0.9	22.8
Enero	2	Des	0.62	3.23	32.3	1	31.3
Enero	3	Des	0.78	4.09	45	1.1	43.9
Febrero	1	Des	0.94	4.96	49.6	1.2	48.4
Febrero	2	Des	1.09	5.8	58	1.3	56.7
Febrero	3	Des	1.22	6.35	50.8	1.4	49.4
Marzo	1	Med	1.3	6.58	65.8	1.6	64.1
Marzo	2	Med	1.3	6.39	63.9	1.8	62.1
Marzo	3	Med	1.3	6.27	68.9	1.4	67.5
Abril	1	Med	1.3	6.14	61.4	1	60.4
Abril	2	Med	1.3	6.01	60.1	0.7	59.4
Abril	3	Med	1.3	5.7	57	0.4	56.5
Mayo	1	Med	1.3	5.38	53.8	0.1	53.7
Mayo	2	Med	1.3	5.07	50.7	0	50.7

Mayo	3	Med	1.3	4.84	53.2	0	53.2
Junio	1	Med	1.3	4.61	46.1	0	46.1
Junio	2	Med	1.3	4.38	43.8	0	43.8
Junio	3	Med	1.3	4.28	42.8	0	42.8
Julio	1	Med	1.3	4.17	41.7	0	41.7
Julio	2	Med	1.3	4.07	40.7	0	40.7
Julio	3	Med	1.3	4.22	46.4	0	46.4
Agosto	1	Med	1.3	4.37	43.7	0	43.7
Agosto	2	Med	1.3	4.52	45.2	0	45.2
Agosto	3	Fin	1.3	4.61	50.7	0	50.7
Septiembre	1	Fin	1.27	4.57	45.7	0	45.7
Septiembre	2	Fin	1.22	4.47	44.7	0	44.7
Septiembre	3	Fin	1.17	4.49	44.9	0.1	44.8
Octubre	1	Fin	1.12	4.49	44.9	0.2	44.7
Octubre	2	Fin	1.06	4.47	44.7	0.3	44.4
Octubre	3	Fin	1.01	4.25	46.8	0.3	46.5
Noviembre	1	Fin	0.96	4.04	40.4	0.3	40
Noviembre	2	Fin	0.91	3.83	38.3	0.3	38
Noviembre	3	Fin	0.86	3.76	37.6	0.4	37.2
Diciembre	1	Fin	0.83	3.77	7.5	0.1	7.5
Sumatoria					1661.3	18.2	1621.1

Decada=periodo de diez días; Inic=inicial; Des=desarrollo; Med=media;Fin=final;Kc=coeficiente de cultivo; ETc=evapotranspiración del cultivo;Prec. Efec=precipitación efectiva; Req. Riego= requerimiento de riego del cultivo en milímetros por decada.

Tabla 5. Requerimientos de agua para el cultivo de *Zea mays* L. (Poaceae) “maíz” en el valle Chicama, Perú.

Mes	Decada	Etap	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Diciembre	1	Inic	0.3	1.37	10.9	0.4	10.4
Diciembre	2	Inic	0.3	1.42	14.2	0.7	13.5
Diciembre	3	Des	0.41	2.01	22.1	0.8	21.3
Enero	1	Des	0.69	3.5	35	0.9	34.2
Enero	2	Des	0.96	5.03	50.3	1	49.3
Enero	3	Med	1.21	6.37	70.1	1.1	69
Febrero	1	Med	1.25	6.62	66.2	1.2	65
Febrero	2	Med	1.25	6.67	66.7	1.3	65.4
Febrero	3	Med	1.25	6.49	51.9	1.4	50.5
Marzo	1	Fin	1.23	6.21	62.1	1.6	60.5

Marzo	2	Fin	0.99	4.87	48.7	1.8	46.9
Marzo	3	Fin	0.68	3.26	35.9	1.4	34.5
Abril	1	Fin	0.42	2	12	0.6	11.5
Sumatoria					546.3	14.3	532

Decada=periodo de diez días; Inic=inicial; Des=desarrollo; Med=media;Fin=final;Kc=coeficiente de cultivo; ETc=evapotranspiración del cultivo;Prec. Efec=precipitación efectiva; Req. Riego= requerimiento de riego del cultivo en milímetros por decada.

Tabla 6. Requerimientos de agua para el cultivo de *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) “espárrago” en el valle Chicama, Perú.

Mes	Decada	Etap	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Diciembre	1	Inic	0.7	3.19	25.5	0.4	25
Diciembre	2	Inic	0.7	3.31	33.1	0.7	32.4
Diciembre	3	Des	0.75	3.68	40.5	0.8	39.7
Enero	1	Des	0.88	4.47	44.7	0.9	43.8
Enero	2	Des	1.01	5.27	52.7	1	51.7
Enero	3	Med	1.08	5.68	62.5	1.1	61.4
Febrero	1	Med	1.08	5.73	57.3	1.2	56
Febrero	2	Med	1.08	5.77	57.7	1.3	56.4
Febrero	3	Fin	1.05	5.45	43.6	1.4	42.2
Marzo	1	Fin	1	5.03	35.2	1.2	33.6
Sumatoria					452.7	10	442.1

Década=periodo de diez días; Inic=inicial; Des=desarrollo; Med=media;Fin=final;Kc=coeficiente de cultivo; ETc=evapotranspiración del cultivo;Prec. Efec=precipitación efectiva; Req. Riego= requerimiento de riego del cultivo en milímetros por decada.

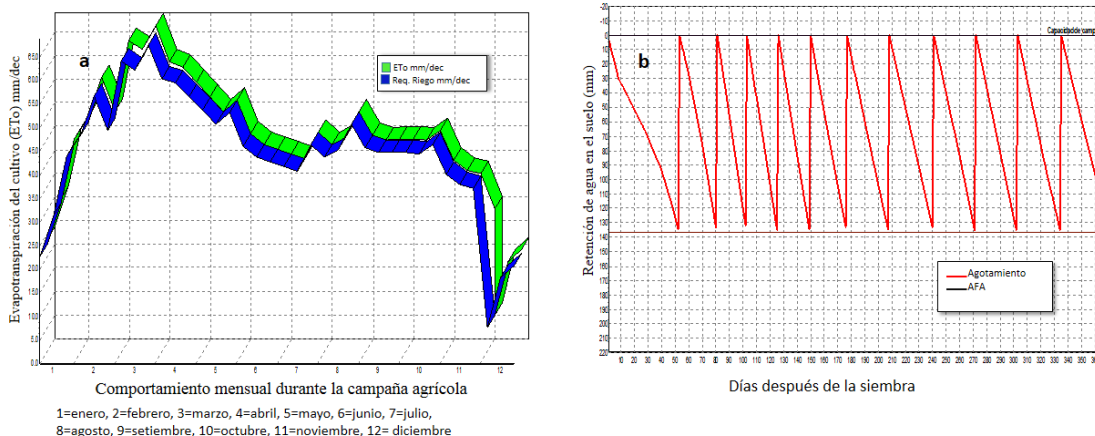


Fig. 5. a. Evapotranspiración y requerimientos de riego (mm/dec); b. Retención de agua en el suelo (mm), del cultivo de *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) “caña de azúcar” en el valle Chicama, Perú.

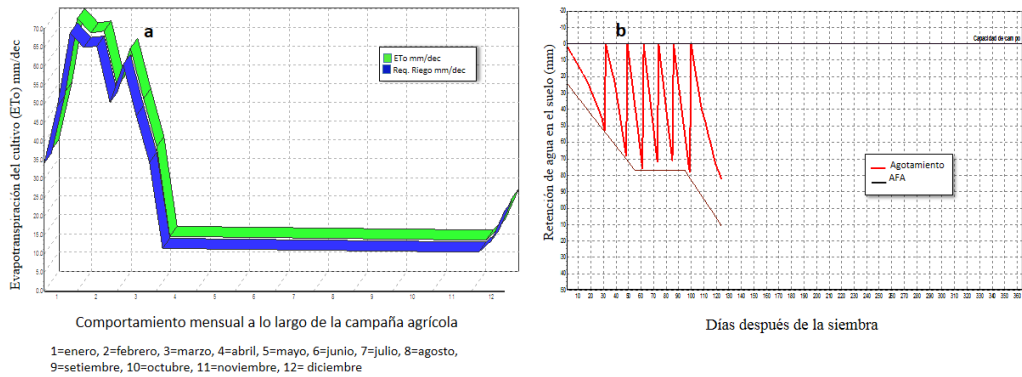


Fig. 6. a. Evapotranspiración y requerimientos de riego (mm/dec); b. Retención de agua en el suelo (mm), del cultivo de *Zea mays* L. (Poaceae) "maíz" en el valle Chicama, Perú.

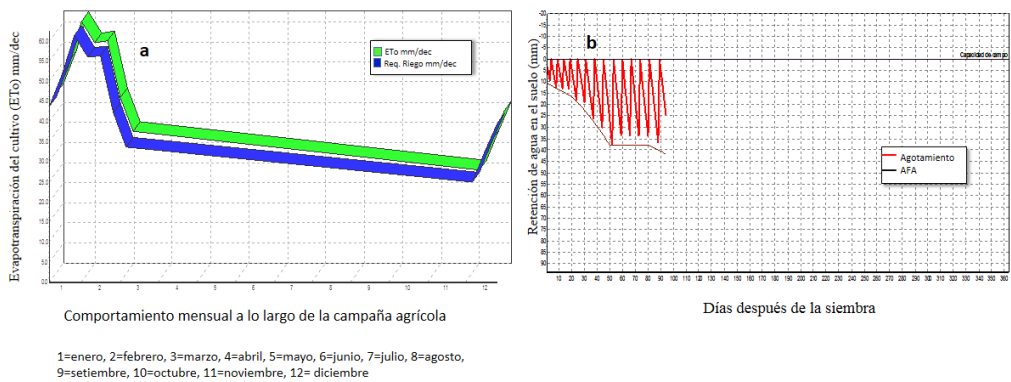


Fig. 7. a. Evapotranspiración y requerimientos de riego (mm/dec); b. Retención de agua en el suelo (mm), del cultivo de *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) "espárrago" en el valle Chicama, Perú.

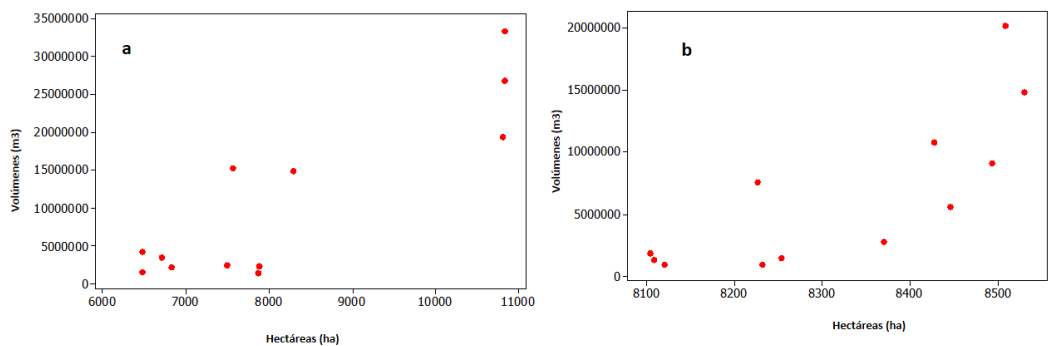


Fig. 8. Análisis de correlación de Pearson para volúmenes de agua (m^3) y hectáreas (ha) según comisión de regantes: a. Ascope; b. Paiján en el valle Chicama, Perú, durante la campaña agrícola 2016-2017.

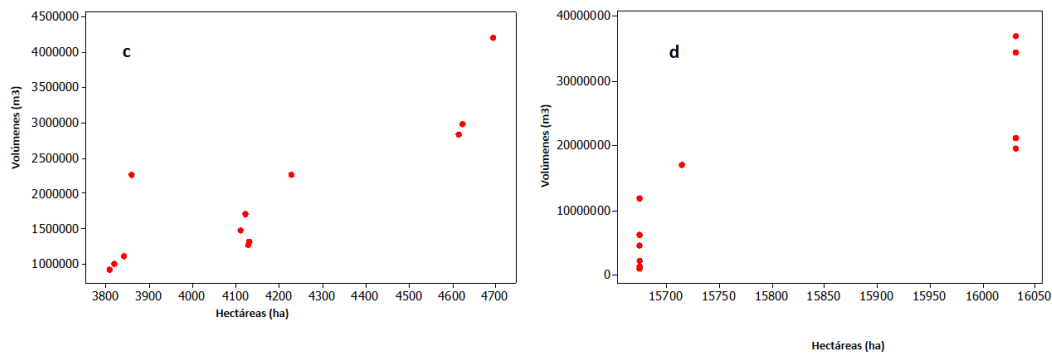


Fig. 9. Análisis de correlación de Pearson para volúmenes de agua (m³) y hectáreas (ha) según comisión de regantes: c. La Pampa; d. Magdalena de Cao y Yalpa en el valle Chicama, Perú, durante la campaña agrícola 2016-2017.

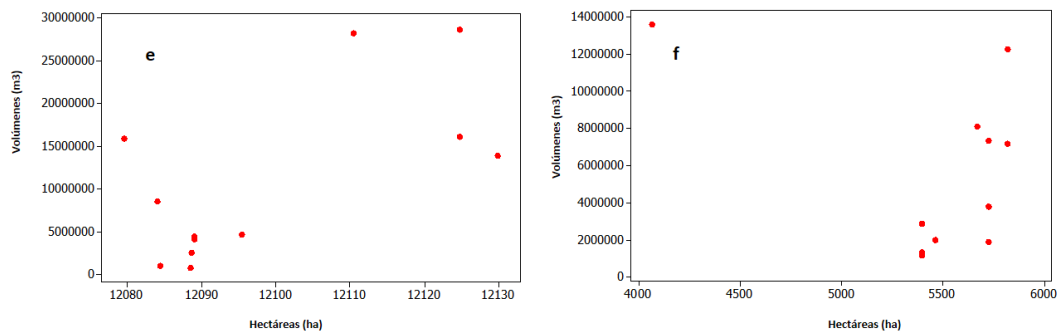


Fig. 10. Análisis de correlación de Pearson para volúmenes de agua (m³) y hectáreas (ha) según comisión de regantes: e. Santiago de Cao; f. Sausal en el valle Chicama, Perú, durante la campaña agrícola 2016-2017.

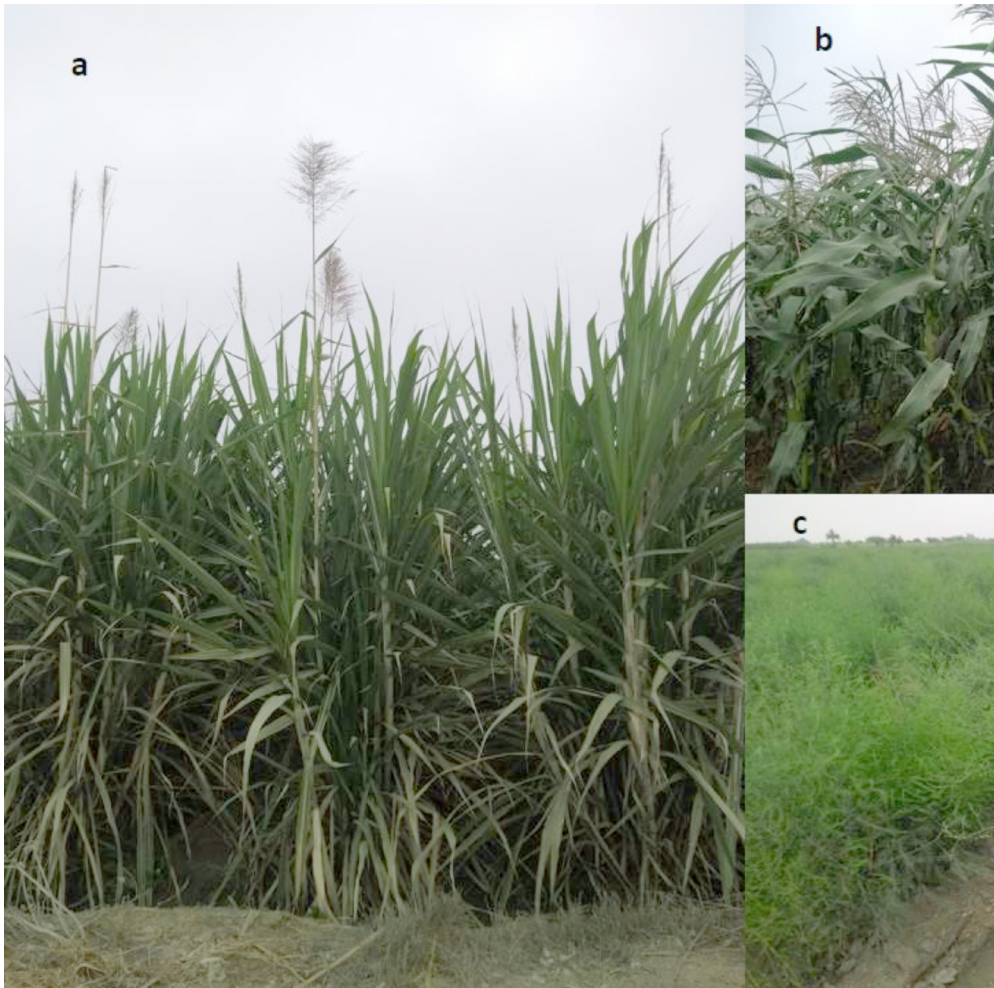


Fig. 11. a. Cultivos de *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) “caña de azúcar”; b. *Zea mays* L. (Poaceae) “maíz”; c. *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) “espárrago” en el valle Chicama, Perú.

Discusión

Referente al reparto de agua, en nuestro país existe un total de 114 Juntas Nacionales de Usuarios que se encuentran distribuidas en Distritos de Riego es así que, en la región La Libertad comprende 11 distritos de riego entre ellas se encuentra la junta de usuarios de agua del valle Chicama (JUAVCHI) la cual es responsable de prestar el suministro de agua con fines de riego en seis comisiones de usuarios (CU) pertenecientes al sector Hidráulico Menor clase B, de acuerdo a las disposiciones que emita la Autoridad Nacional del Agua (Autoridad Nacional del Agua, 2019; Junta de usuarios de agua del valle Chicama, 2017). El valle Chicama como sector hidráulico (Fig. 2) se encuentra dividido en cinco Sub Sectores Hidráulicos, denominados: Sausal, Ascope, Chocope, Paiján y Santiago de Cao a cargo de seis Comisiones de Regantes (Fig. 4): Sausal, Ascope, Magdalena de Cao y Yalpa, Paiján, La Pampa y Santiago de Cao (Junta de usuarios de agua del valle Chicama, 2017).

Las descargas mensuales del río Chicama durante el año 2016-2017, fueron de 784,383,321.60 m³ de los cuales se utilizaron con fines de riego 577,534,295.64 m³ (Tabla 1). Como se observó el sector agrícola es el que utilizó mayor cantidad de volúmenes de agua durante este periodo (Fig. 3), lo que coincide con estudios realizados por Guerrero (2014), Instituto Nacional de Recursos Naturales (2008), Muñoz (2011), Gómez & Flores (2015) donde señala que el aprovechamiento principal del recurso hídrico se da en el sector agrícola debido a que este sector es el que mayor cantidad de agua consume. Cada año la Junta de Usuarios ha solucionado este inconveniente sugiriendo que se debe reajustar pronosticando debido

a que en los meses de febrero, marzo y abril generan mayor disponibilidad hídrica (Junta de Usuarios de Agua del Valle Chicama, 2017; Díaz & Pretel, 2014).

Cabe señalar que el consumo de agua de riego en la campaña agrícola 2016-2017 se produjo principalmente de las descargas mensuales del río Chicama (Tabla 1), el cual por ser un río de caudal irregular, lo cual generó fluctuaciones durante el año hídrico (Junta de Usuarios de Agua del Valle Chicama, 2017). Por tal motivo el mes de marzo presentó 136, 817, 484.32 m³ (Tabla 1), siendo el mayor volumen de descarga, que se utilizó para riego de 56,255.18 ha. (Tabla 2). El total de áreas de riego fue 648,253.22 ha para todas las comisiones de regantes en el valle Chicama (Tabla 2 y Fig. 4).

Se reportaron tanto el área cultivada (Tabla 2) como el consumo de agua (Tabla 1) en cada una de las comisiones de regantes en la campaña agrícola 2016-2017, se observó la correspondencia del consumo de agua y las áreas cultivadas (Fig. 3). En algunos sectores el área cultivada fue bastante amplia, lo cual originó que el consumo de agua se incremente, y en otros sectores ocurrió lo contrario (Fig. 3). Los usuarios solicitan permiso para cultivar ciertos cultivos antes de que empiece la campaña de riego a través de la declaración de intensión de siembra. Esto parece ser una manera flexible y adecuada de asignar agua, pero en la práctica es solamente una formalidad, de hecho la Autoridad Local del Agua sólo permite la producción del cultivo permitido el año anterior o de un cultivo que use menos agua. Lo que coincide con estudios realizados por Guerrero & Florián (2013) en el valle Jequetepeque.

El uso del agua para la producción agrícola depende de la interacción de los parámetros climáticos que determinan la evapotranspiración de los cultivos (ETc) relacionado con el suministro de agua de lluvia de tal modo, la recopilación, procesamiento y análisis de información meteorológica para el uso del agua en los cultivos constituyen un elemento clave en el desarrollo de estrategias para optimizar el uso del recurso en la producción agrícola y así introducir prácticas eficaces de gestión del agua (Smith, 2000; Al-Najar, 2011).

Con respecto a los datos climatológicos (Tabla 3) se utilizó la información reportada por la estación meteorológica Casa Grande con altitud de 157 m, latitud de 7.66°S y longitud de 79.16°W. Se determinó la temperatura mínima promedio estimada la cual se obtuvo en el mes de agosto con 13.3°C, llegando a una máxima promedio en febrero con 31.5°C la que se consideró como la temperatura crítica de los cultivos de *Saccharum officinarum*, *Zea mays* y *Asparagus officinalis* (Sifuentes *et al.*, 2014), según Mantilla (2006) esta variable influye en el potencial de agua en el suelo, los valores de la humedad relativa oscilaron entre 73% y 80%, con un promedio anual de 76%, por lo tanto a mayor cantidad de humedad, las necesidades de riego son más pequeñas y a medida que el aire está más seco las necesidades de riego son mayores (Cisneros, 2003).

Teniendo en cuenta los datos meteorológicos se determinó la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo). Allen *et al.* (2006) considera que ETo expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera las características del cultivo y los factores del suelo. En consecuencia

en el valle Chicama, ETo está ligada a factores locales y su fluctuación anual, presentando valores máximos de 5.34 mm/día en el mes de febrero y mínimos de 3.12 mm/día en el mes de julio, con un promedio de 4.23 mm/día (Tabla 3), estas variaciones graduales podrían proceder de elevaciones térmicas causadas por sequías principalmente (Ruíz-Álvarez *et al.*, 2011). Estudios realizados por Castro *et al.* (2014) indica que la variación de ETo influye directamente en los valores de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y coeficiente de cultivo (Kc) y se debe principalmente a la fluctuación de la radiación solar, generando una acentuada disminución de esta variable en los meses de mayo, junio, julio, agosto y setiembre.

Bolaños (2011), respecto a los requerimientos de riego indica que, el cálculo del volumen de riego que necesita la planta, se basa en la diferencia entre la ETc mm/dec y la precipitación efectiva. Este valor es cero si la precipitación efectiva es mayor que el requerimiento de agua del cultivo en determinado momento, de otro modo éste es igual a la diferencia entre los requerimientos de agua del cultivo y la lluvia efectiva. Se considera los factores relacionados con el cultivo que incluyen la etapa de crecimiento de la planta entre otros, para posteriormente poder convertir la ETo a ETc, utilizando un coeficiente específico para el cultivo (Kc) (Allen *et al.*, 2006).

El consumo de agua del cultivo de *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) “caña de azúcar” (ETc), para el periodo de producción como cultivo permanente de octubre a setiembre (Tabla 4 y Fig. 5), alcanzó valores del orden de 1.89 en la etapa inicial a 6.58 mm/día en la etapa media, acumulando un total de 1661,3 mm/día por todo el periodo vegetativo

expresado también como 16,613 m³/ha. Estos valores se encuentran dentro de los requerimientos de agua que varían entre 1300 a 2500 mm/día distribuidos en la temporada del cultivo. Asimismo en cada una de las fases el consumo varió según el desarrollo y requerimientos del cultivo, se obtuvo los valores de Kc en el rango de 0.4 en la fase inicial y 1.3 en la fase media, en consecuencia cuando la planta se encuentra en su etapa de mayor desarrollo tendrá mayores requerimientos hídricos lo que concuerda con estudios realizados por Castro *et al.* (2014) en el cultivo de *Allium sativum* y Viveros (2011) en *Saccharum officinarum* L. En la primera década del mes de diciembre del 2015 requirió una lámina de 0.4 mm/dec, y al finalizar su período de crecimiento una lámina de 0,1 mm/dec, todo su consumo está basado en la precipitación efectiva de la zona. Según Viveros (2011), la falta de precipitaciones provoca un desequilibrio hidrológico considerable, en consecuencia existe restricciones en el suministro de agua.

Para el caso de *Zea mays* L. (Poaceae) “maíz” (Tabla 5 y Fig. 6), los requerimientos de agua alcanzaron valores de 1.37 en la etapa inicial a 6.49 mm/día en la etapa media, además acumuló un total de 546,3 mm/día durante su periodo vegetativo expresado en 5,463 m³/ha. Estos resultados coinciden con los requerimientos mínimos de agua del cultivo en las diferentes fases fenológicas con 700 mm y temperaturas de 21-27°C (Fuentes, 2002). El valor de Kc durante el periodo inicial es alto 1,25 en la etapa media cuando el suelo se encuentra húmedo debido al riego lo que se observa a partir del mes de enero, generando que en esta etapa los requerimientos de agua para el cultivo se incrementen (García, 2015). En la primera década del mes de diciembre

requerirá una lámina de 0,4 mm/dec, y al finalizar su período de crecimiento una lámina de 0.6 mm/dec, todo su consumo está basado en la precipitación efectiva de la zona.

Sobre las necesidades hídricas del cultivo de *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) “espárrago”, considerado transitorio en los meses de diciembre a marzo, se determinaron valores de 3.31 en la etapa inicial y 5.77 m/día en la etapa media, acumulando un total de 452.7 mm/día por todo el periodo vegetativo expresado también como 4,527 m³/ha (Tabla 6 y Fig. 7). Lo cual se encuentra dentro de lo propuesto por el Ministerio de Agricultura (2015) y estudios realizados por Fonseca *et al.* (2012), los requerimientos se encontraron entre valores de 5,005 y 15,500 m³/ha y temperaturas de 16-24°C. El valor de Kc máximo se observó en la etapa media 1.08, lo que indica que demandaría mayor cantidad de riego (García, 2015). El mes de diciembre requirió una lámina de 0.4 mm/dec, y al finalizar su período de crecimiento una lámina de 1,2 mm/dec, todo el consumo está basado en la precipitación efectiva de la zona. En el valle Chicama la temporada de precipitaciones se inicia en enero culminando en los primeros días de mayo, en consecuencia de mayo a diciembre es la temporada seca; por este motivo, los requerimiento de agua para riego en estos meses fueron volúmenes altos (Pérez, 2012).

Con respecto al requerimiento de riego bruto o total de los cultivos de *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) “caña de azúcar” (Fig. 5), *Zea mays* L. (Poaceae) “maíz” (Fig. 6) y *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) “espárrago” (Fig. 7) para satisfacer la demanda de agua y las necesidades de riego, dependen del método de riego a aplicar. Se calculó dicho requerimiento

mediante riego por gravedad, con una eficiencia de 70% donde se obtuvo módulos de riego de 1.04, 1.08, 0.94 lps/ha respectivamente en los cultivos para el mes más crítico (Chuchon, 2015) en una lámina bruta total de 1216.8 mm (Leiton, 1985).

Se observó las fechas de las necesidades de riego para los cultivos principales de *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) “caña de azúcar” (Fig. 5), *Zea mays* L. (Poaceae) “maíz” (Fig. 6) y *Asparagus officinalis* L. “espárrago” (Fig. 7), se consideró el riego después de la siembra, esto debido a que se aprovechó la precipitación tal como lo indica Díaz (2015). A propósito de la línea AFA (agua fácilmente aprovechada) esta no es alcanzada en ningún momento debido a que la programación de riego se realizó a intervalos que aseguren el suministro antes de sobrepasar el 70% del agotamiento crítico. Asimismo se consideró el agotamiento de la humedad total del suelo para las fechas indicadas, lo que significa la lámina que se debe aplicar para llevar el suelo a capacidad de campo. Según Trezza *et al.* (2015), los días de riego son aquellos donde existe un irrigación neta mayor que cero, en el caso del riego función del agotamiento se produce cuando la lámina agotada supera el umbral de riego.

Con la información obtenida de las cédulas de cultivo por comisiones de regantes para la campaña agrícola 2016-2017 y las medidas de los volúmenes mensuales de agua asignadas se realizó el análisis de correlación de Pearson, para volumen de agua y hectáreas en las comisiones de riego (Figs. 8, 9 y 10), se observó correlación significativa ($r > 0.60$, $p < 0.05$) entre el volumen de agua solicitado y el número de hectáreas cultivadas en las comisiones de riego (Fig. 4), a excepción de

la comisión de riego Sausal (Fig. 10) donde la relación es negativa, posiblemente producto de que en un determinado mes se solicitaron menor cantidad de hectáreas y se reportó un volumen de agua bastante alto o a un factor no necesariamente conocido.

Conclusiones

1. *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) “caña de azúcar” (ETc), para el periodo de producción alcanzó valores del orden de 1,89 en la etapa inicial a 6,58 mm/día en la etapa media, acumulando un total de 1661,3 mm/día por todo el periodo vegetativo expresado también como 16,613 m³/ha. Los requerimientos de agua *Zea mays* L. (Poaceae) “maíz” alcanzaron valores de 1,37 en la etapa inicial a 6.49 mm/día en la etapa media, además acumuló un total de 546,3 mm/día durante su periodo vegetativo expresado en 5,463 m³/ha y *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) “espárrago”, se determinó valores de 3.31 en la etapa inicial y 5.77 m/día en la etapa media, acumulando un total de 452,7 mm/día por todo el periodo vegetativo expresado también como 4,527 m³/ha.

2. Se observó correlación significativa ($r > 0.60$, $p < 0.05$), según el análisis de correlación de Pearson para de los volúmenes de agua y hectáreas en las comisiones de riego del valle Chicama, a excepción de la comisión de riego Sausal.

Agradecimientos

Expresamos nuestro reconocimiento a las autoridades de la Universidad Nacional de Trujillo y Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, por su constante apoyo y facilidades para la realización de la presente investigación. A los editores y al personal de la revista Arnaldoa por la oportunidad de poder publicar nuestros trabajos de investigación.

Contribución de los autores

M. K. G.: Redacción del texto, metodología de evaluación de evapotranspiración y requerimientos de agua para la programación de riego de los cultivos en el valle Chicama, trabajo de campo, registro fotográfico. A. M. G.: Dirección del trabajo del trabajo de investigación, redacción del texto, metodología de evaluación evapotranspiración y requerimientos de agua para la programación de riego de los cultivos en el valle Chicama, trabajo de campo, registro fotográfico; revisión y aprobación del texto final. C. F. C. Redacción del texto, metodología de evaluación Evapotranspiración y requerimientos de agua para la programación de riego de los cultivos en el valle Chicama y logística; revisión y aprobación del texto final.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Literatura citada

- Aguilar, R.** 2015. Ficha técnica del cultivo de caña de azúcar. Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos. Universidad de San Luis de Potosí. Mexico, 3-9.
- Anicama, J.** 2008. La agroindustria en la costa norte del Perú. Limitantes y perspectivas: caso del azúcar y el espárrago. Tesis para optar el grado de Magister en Economía con mención en Política Económica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú, 73pp
- Al-Najar, H.** 2011. The Integration of FAO-CropWat Model and GIS Techniques for Estimating Irrigation Water Requirement and Its Application in the Gaza Strip. *Natural Resources*, 2011(2):146-154. doi:10.4236/nr.2011.23020
- Allen, R., L. Pereira, D. Raes & M. Smith.** 2006. Evapotranspiración del cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje. Manual N° 56. Roma, 322pp
- Arteaga, R., V. Ángeles & M. Vázquez.** 2011. Programa CROPWAT para la planeación y manejo del recurso hídrico. Universidad Autónoma Chapingo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2(2):183-195
- Autoridad Nacional del Agua (ANA).** 2019. Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos (SNGRH) (https://www.ana.gob.pe/contenido/sistema_naciona_122221534, consultado el 26 de febrero del 2019)
- Bolaños, M.** 2011. Determinación de la huella hídrica y comercio e agua virtual en los principales productos agrícolas de Honduras. Tesis para optar el título de Ingeniería en Administración de Agronegocios. Universidad de Honduras. Zamorano-Honduras, 49pp
- Castro, H., G. Cely & Y. Santos.** 2014. Determinación de los requerimientos del ajo (*Allium sativum* L.) y su relación con estados fenológicos. *Cultura Científica*. Colombia, 57-64
- Cisneros, R.** 2003. Riego y drenaje. Centro de investigación y estudios de posgrado y área agrogeodésica. Universidad Autónoma de San Luis de Potosí. Mexico, 37-113
- Cortés, B.** 2010. En la búsqueda de señales del cambio climático en el valle del río Cauca. En: *Carta Trimestral*, 32(3-4):1-3
- Chuchon, E.** 2015. Cálculo de la demanda de agua y necesidades de riego para cultivo anual, forraje y frutal con aplicación de CROPWAT 8.0-FAO-Tambillo-Ayacucho. V Congreso Nacional- IV Congreso Iberoamericano de riego y drenaje. Lima, Perú, 2-27
- Chura, J. & J. Tejada.** 2014. Comportamiento de híbridos de maíz amarillo duro en la localidad de La Molina, Perú. *Universidad Nacional Agraria La Molina. IDESIA* 32(1):113-118
- Díaz, C & E. Pretel.** 2014. Diseño hidráulico y agronómico para un sistema de riego tecnificado del sector La Arenita, distrito Paján-Chicama. Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Privada Antenor Orrego. Perú, 175pp
- Díaz, D.** 2015. Programación de riego para el cultivo de algodón en los municipios de Villavicencio, Palmira y Barranquilla mediante el uso de Cropwat 8.0. Universidad Nacional de Colombia. Colombia, 2-17
- Fonseca, S., C. Verano & J. Mariluz.** 2012. Huella hídrica del cultivo de espárrago en el Perú. Ministerio de Agricultura (MINAG). Autoridad Nacional del Agua (ANA), 8-16

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).** 2013. Land and Water division. Software CROPWAT. (http://www.fao.org/nr/water/infoces_databases_cropwat.html, consultado el 20 de febrero del 2019).
- Fuentes, M.** 2002. El cultivo de maíz en Guatemala, una guía para su manejo agronómico. Instituto de ciencia y tecnologías agrícolas. Guatemala, 45pp
- García, J.** 2015. Hacia el riego de precisión en el cultivo de fresa en el entorno de Doñana. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. 2015 Campus de Rabanales Ctra. Nacional IV, Km. 396 A 14071 Córdoba, Argentina, 237pp
- Gomez, R. & F. Flores.** 2015. Agricultura y servicios ecosistémicos: el caso del espárrago en Ica. Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico, Lima-Perú, 42(77):10-21
- Guerrero, A.M. & J.C. Florián.** 2013. Demanda y uso de agua en los sectores de riego de la cuenca baja del río Jequetepeque (La Libertad, Perú). *Rebiol* 33(1):1-17
- Guerrero, A.M.** 2014. Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la cuenca del río Jequetepeque. *Revista de Investigaciones Aplicadas SCIENDO* 17(2):92-117
- Injante, P. & G. Joyo.** 2010. Manejo integrado de maíz amarillo duro. Agrobanco. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú, 6-13
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA).** 2003. Evaluación y Ordenamiento de los Recursos Hídricos en la Cuenca del río Chicama, La Libertad Perú, 1:82-86
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA).** 2008. Proyecto de obras de control de bloques de riego en el valle Chicama. Estudio de preinversión a nivel de perfil. INRENA-Ministerio de Agricultura. Lima-Perú, 73 pp
- Julca, J.** 2011. Consejo interregional de recursos hídricos de la cuenca del río Chicama. Gobierno Regional La Libertad. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión Ambiental. Informe final ALA. Perú, 17-24
- Junta de Usuarios de Agua del valle Chicama.** 2017. Plan de aprovechamiento de las disponibilidades hídricas en el sector hidráulico valle Chicama. 1-8
- Leiton, J.S.** 1985. Riego y Drenaje. Primera edición Editorial Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica, 179pp
- Mantilla, E.** 2006. Efecto de cinco volúmenes de riego de chapodo sobre la calidad y el rendimiento de turiones de espárrago blanco (*Asparagus officinalis* L.) cv.UC. 157 F1, en el Alto Salaverry. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Trujillo. Perú, 65-70
- Ministerio de Agricultura (MINAG).** 2003. Plan estratégico de la cadena productiva de maíz amarillo duro-avícola, porcícola, GPA-DGPA. MINAG. Perú, 39-43
- Ministerio de Agricultura (MINAG).** 2010. "Dinámica Agropecuaria 1997-2009". Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos, Ministerio de Agricultura. Lima-Perú, 64pp
- Ministerio de Agricultura (MINAG).** 2012. Cadena agroproductiva del maíz amarillo duro, Lima-Perú, 27pp
- Ministerio de Agricultura (MINAG).** 2013. Caña de azúcar, principales aspectos de la cadena agroproductiva, Lima-Perú, 4-13
- Ministerio de Agricultura (MINAG).** 2015. Ficha técnica N° 18. Requerimientos agroclimáticos del cultivo de espárrago. (<http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroclima/efenologicos/2015/ESPARRAGO.pdf>, consultado el 23 de enero del 2019).
- Muñoz, I.** 2011. Desigualdades en la distribución del agua de riego. El caso del valle de Ica. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, 267-290
- Pérez, S.** 2012. Evaluación y análisis de la huella hídrica y agua virtual de la producción agrícola en el Ecuador. Proyecto especial para optar al título de Ingeniera en Administración de Agronegocios en el Grado Académico de Licenciatura. Departamento de administración de Agronegocios. Zamorano, Honduras, 62pp
- Ruiz-Álvarez, O., R. Arteaga-Ramírez, M. Vázquez-Peña, R. López-López & R. Ontivetos-Capurata.** 2011. Requerimiento de riego y predicción del rendimiento en gramíneas forrajeras mediante un modelo de simulación en Tabasco, México. *Agrociencia* 45(7):745-760
- Sifuentes, E., J. Ruelas, J. Soto, J. Macías & C. Palacios.** 2014. Planeación del riego en el cultivo de algodónero (*Gossypium hirsutum* L.), mediante un modelo de programación integral en el Distrito 075, Sinaloa, México. *Scientia Agropecuaria* 5:93-102

- Smith, M.** 2000. The application of climatic data for planning and management of sustainable rainfed and irrigated crop production. *Agricultural and Forest Meteorology* 103:99-108
- Trezza, R., L. Sánchez & A. Núñez.** 2015. Estimación de la evapotranspiración de los cultivos utilizando imágenes satelitales LANDSAT 8 en el sistema de riego "El Cenizo", Venezuela. *Universidad Los Andes. Venezuela*, 14(33):1-11
- Vera, M.** 2013. Manejo agronómico de semilleros del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en el valle Chicama para la obtención de semillas de óptima calidad. Tesis para obtener el título de ingeniero agrónomo. Universidad Privada Antenor Orrego-Perú, 19-29
- Viveros, C.** 2011. Identificación de características asociadas con la mayor eficiencia en el uso de agua para la producción de caña de azúcar. Tesis doctoral en Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia-Colombia, 38-42
- Yzarra, W. & F. López.** 2012. Manual de observaciones fenológicas. Ministerio de Agricultura (MINAG), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú-SENAMHI. Perú, 15-65 doi:<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-11.pdf>