



Artículo

Programación de riego deficitario controlado y volumen de agua consumido por tres ecotipos de papalisa (*Ullucus tuberosus* Caldas.)

Programming of controlled deficit irrigation and volume of water consumed by three ecotypes of papalisa (*Ullucus tuberosus* Caldas.)

Yannet Choque Choque, Fanny Bertha Arragan Tancara

RESUMEN:

El riego deficitario es una herramienta alternativa que permite el uso racional del agua aplicada, con el mínimo impacto en la producción. El objetivo del presente trabajo fue estimar el efecto del déficit hídrico con diferentes frecuencias de riego en la producción del cultivo de papalisa, mediante riego localizado. El ensayo se realizó a campo en la Estación Experimental Choquenaira de la Provincia Ingavi La Paz -Bolivia perteneciente a la Facultad de Agronomía. Los tratamientos consistieron en aplicar dos láminas de riego deficitario (50 y 75%ETc), comparado con un tratamiento control de 100% ETc, con una frecuencia de riego cada cinco días. La evapotranspiración de referencia se calculó mediante los registros meteorológicos obtenidos por una estación climática en cual se encuentra en la estación. El diseño experimental fue de bloques al azar, en esquema bifactorial 3x3 (ecotipos y láminas), con 3 repeticiones. Se evaluó la cantidad de agua de consumo por la planta en sus diferentes etapas de desarrollo, el contenido del agua en el suelo y la determinación del potencial hídrico foliar y el total de agua aplicada mediante el riego, se presentan los mejores resultados con la aplicación de una lámina de riego L2 (lámina 75% de la ETc) fue de 5.911,96 m³/ha, lo que indica un ahorro de agua de 24 % y es posible disminuir hasta un 43% el aporte de agua 4.419,80 m³/ha, en cultivo de papalisa sin afectar variables de rendimiento aplicando L3 (lámina 50% ETc) con respecto al tratamiento uno L1(lámina 100% ETc) fue de 7.750,48 m³/ha. Sin embargo, los efectos del déficit hídrico aplicados se reflejan en un mayor ahorro del recurso hídrico y permita darle mayor sustentabilidad para el productor.

PALABRAS CLAVE:

Lámina de riego, estrategias de riego, eficiencia de uso del agua.

ABSTRACT:

Deficit irrigation is an alternative tool that allows the rational use of applied water, with minimal impact on production. The objective of the present work was to estimate the effect of the water deficit with different irrigation frequencies in the production of the papalisa culture, by means of localized irrigation. The trial was conducted in the field at the Choquenaira Experimental Station of the Ingavi Province of La Paz, Bolivia, belonging to the Faculty of Agronomy. The treatments consisted of applying two deficit irrigation sheets (50 and 75% ETc), compared with a control treatment of 100% ETc, with a frequency of irrigation every five days. The reference evapotranspiration was calculated by meteorological records obtained by a weather station in which it is located in the station. The experimental design was randomized blocks, in a 3 × 3 bifactorial scheme (ecotypes and sheets), with three repetitions. The commercial production of the tuber in weight and number of fruit per plant, established for the test was evaluated, the best results are presented with the application of an irrigation sheet L2 (lámina 75% of the ETc) was 5,911.96 m³ / ha , which indicates a water saving of 24% and it is possible to reduce the water supply by 4,419.80 m³ / ha, in papaya cultivation without affecting yield variables by applying L3 (50% ETc sheet) with respect to to the treatment one L1 (100% ETc sheet) was 7,750.48 m³ / ha. However, the effects of the water deficit applied are reflected in a greater saving of the water resource and allow to give greater sustainability to the producer.

KEYWORDS:

Irrigation sheet, irrigation strategies, water use efficiency.

AUTORES:

Yannet Choque Choque: Consultor independiente área productiva, Bolivia. yanetkar_cc2@hotmail.com

Fanny Bertha Arragan Tancara: Docente Investigadora. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. fannyarragan@gmail.com. ORCID: 0000-0001-8092-6951.

DOI: [10.53287/aevy8046fp84j](https://doi.org/10.53287/aevy8046fp84j)

Recibido: 06/08/2022. Aprobado: 26/08/2022.



INTRODUCCIÓN

La sequía en las zonas áridas y semiáridas del Altiplano Boliviano y los cambios en los regímenes de pluviometría provocados por el cambio climático afectan de sobremanera la disponibilidad de agua, con la consecuente reducción de la producción (De La Fuente, 2008).

El uso de sensores para la determinación del contenido de agua del suelo para la programación del riego en agricultura está ampliamente extendido. Su interés radica en la posibilidad de conocer el estado hídrico del suelo y su evolución, pudiendo monitorear los riegos y las lluvias, permitiendo detectar pérdidas por percolación profunda y controlar la adecuada infiltración del agua de riego en el perfil enraizado del suelo (De La Fuente, 2008). Todo ello buscando mejorar la eficiencia de aplicación del riego, lo que conlleva ahorros de agua, fertilizantes y energía, y por tanto intentar reducir los costos de producción y la contaminación actual.

La papalisa (*Ullucus tuberosus*) es uno de los cultivos alternativos de importancia en Bolivia, considerados actualmente de alta calidad alimenticia, energético y medicinal que constituye una opción de consumo preferente para “épocas frías”, a la vez contribuye a la diversidad de tubérculos de papalisa, tubérculo de las familias rurales, adaptados a alturas variables entre 3.000 - 4.000 m.s.n.m. (PROINPA, 2003).

El problema que afecta a la producción de papalisa, es el uso de tubérculo semilla de mala calidad permanentemente por periodos sucesivos de sequía, que reducen los rendimientos del cultivo.

El presente estudio se realizó durante el periodo entre noviembre 2016 y junio 2017 en la Estación Experimental Choquenaira dependiente de la Facultad de Agronomía - UMSA, está ubicada en la comunidad de Choquenaira, a 8 km de la población de Viacha, Provincia Ingavi y a 32 km de la ciudad de La Paz; a una altitud de 3870 m.s.n.m., geográficamente se halla a 14°16' 45'' latitud sur y a 65°34' 23'' longitud oeste, el camino que comunica Viacha y las comunidades son de tierra y ripiadas; en época de lluvias existe anegamiento en los caminos de tierra (Mamani, 2007). Para mejorar el rendimiento se necesita de trabajos de investigación

base, la información (lo investigado) no se difunde, a provincias alejadas de Bolivia.

Con el proposito de conocer la dosificación adecuada del riego en los cultivos andinos, es imprescindible saber cómo evoluciona el contenido de agua en el suelo. Para ello, existen diferentes métodos de medida de la humedad del suelo y cada uno plantea una serie de ventajas e inconvenientes.

En este trabajo, el monitoreo de la humedad del suelo se ha realizado de manera indirecta, mediante sondas del tipo “Frequency Domain Reflectometry” (FDR), del modelo “EnviroScan”. Su funcionamiento se basa en estimar la constante dieléctrica del suelo a través de la capacitancia. El uso de sensores para la determinación del contenido de agua del suelo para la programación del riego en agricultura está ampliamente extendido.

El objetivo de la investigación radica en conocer el estado hídrico del suelo y su evolución, como una herramienta de monitoreo los riegos y las lluvias, el monitoreo de la humedad de suelo permitirá detectar pérdidas por percolación profunda y controlar la adecuada infiltración del agua de riego en el perfil enraizado del suelo (De La Fuente, 2008). Todo ello buscando mejorar la eficiencia de aplicación del riego, lo que conlleva ahorros de agua, fertilizantes y energía, y por tanto intentar reducir los costos de producción y la contaminación actual

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ecotipos utilizados de papalisa fueron Q'illu ch'ixch'í (ecotipo jaspeado), Wila api ch'ismi (ecotipo rojo), Q'illu ullucu (ecotipo amarilla), utilizada en la región debido a su alta producción. La distancia entre plantas es de 0,3m, entre hilera de 0,6m y la densidad de siembra de 5,5 plantas/m². El ciclo vegetativo del cultivo varía entre 190 a 258 días.

El proceso metodológico experimental se ejecutó en tres fases elementales: fase de trabajo en campo, la fase de trabajo en laboratorio y la fase de trabajo en gabinete.

El estudio se efectuó, evaluando la influencia de Riego Deficitario Controlado (RDC) mediante la aplicación de láminas de riego, en un diseño de

bloques completamente al azar con tres repeticiones, en esquema factorial 3x3, donde el factor A ecotipos y el factor B son las láminas de riego con tres tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos fueron: El tratamiento 1 (T1) regado con el 100%, de la ETc; Tratamiento 2 (T2) 75% de la ETc y Tratamiento 3 (T3) 50% de la ETc. La evapotranspiración de referencia (ETo), fue estimada por el método de FAO Penman Monteith. Para el cálculo de la ETo, se instaló una estación meteorológica automática cerca de la parcela de estudio, la cual registraba datos climáticos de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar y precipitación cada 30 minutos, instalada a 10m del ensayo. La evapotranspiración del cultivo (ETc) se estimó asumiendo los valores de coeficiente del cultivo (Kc), de acuerdo a la etapa fenológica: Kcinicial= 0,6; Kcmedia= 2 y Kcfinal= 0,8 (Allen et al., 2006). El coeficiente de ajuste de la precipitación efectiva utilizado fue 0,75.

El riego fue localizado y realizado de manera manual. La parcela de ensayo tiene las siguientes dimensiones: 10m de ancho por 19m de largo (190 m²), la misma que fue dividida en 3 bloques, subdivididos esto a su vez en 27 unidades experimentales. Cada unidad experimental se replanteo y estableció en una dimensión de 2,5 m de ancho y 2 m de largo, separadas estas por pasillos de 1m entre tratamientos y 1m entre bloques, logrando así, un área individual de 15 m² por cada unidad experimental. Los tratamientos consistieron en aplicar tres láminas de riego deficitario: T1- 100%ETc, T2 -50%ETc y T3- 75%ETc según el requerimiento hídrico del cultivo, con una frecuencia de riego de 5 días, aplicándose desde el día 59 hasta 153 días después de la siembra. Desde la siembra hasta 23 días después (fase fenológica inicial del cultivo) se aplicó a todos los tratamientos una lámina de riego de 100%ETc para asegurar el establecimiento de las plantas; además, en esta fase el requerimiento hídrico es mínimo. Cada parcela se organizó en 2,5m de ancho y 2m de largo, para un área total de 196m² y población total de 756 plantas.

Determinación del estado hídrico del suelo

El contenido de agua del suelo se midió con sensores FDR, modelo “EnviroScan” (Sentek Pty Ltd, Australia). Que se caracterizan por ser sensores de medida indirecta, pues en realidad miden la

constante dieléctrica aparente del suelo (Ka) a través del tiempo que tarda en cargarse un condensador interno que utiliza el suelo como dieléctrico. Es por ello que a este tipo de sensores se los denomina de capacitancia.

El lugar donde se implementó este programa y se realizaron los estudios en la Estación Experimental Choquenaira, la instrumentalización de la parcela constó de una sonda de capacitancia (FDR) portátil para la monitorización de las reservas de agua en el suelo, a 5 profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30- 40 y 40-50 cm.).

Los sensores de esta sonda envían sus mediciones al capacitor-datalogger, donde fueron almacenados. El trabajo de campo con la sonda de capacitancia consistió en tomar semanalmente las lecturas a las tres profundidades citadas, en cada uno de los nueve tubos de acceso instalados. Los datos climáticos del 2016 al 2017 de: radiación solar, velocidad y horas de viento, temperaturas máximas y mínimas, humedades relativas máximas y mínimas, presión barométrica y precipitación pluvial, se obtuvieron de una estación meteorológica Davis, modelo Vantage Pro 2, fabricada en U.S.A.

Sonda de Capacitancia (FDR) es un sistema de alta tecnología para monitorear la humedad de los suelos. Las variaciones de capacitancia se deben a los cambios en el dieléctrico del medio circundante, es decir, la frecuencia de oscilación es proporcional a la relación aire/agua en el suelo. La ecuación de calibración almacenada en el capacitor-datalogger permite la conversión de las medidas de capacitancia en mediadas de contenido volumétrico de agua en el suelo.

Cada sensor recoge información que cubre un estrato de 10 cm. de suelo, con un radio exterior al tubo de 5-10 cm. La distribución y cantidad de los tubos de acceso fue cuidadosamente planificada. Se instalaron un total de nueve tubos de acceso en la parcela de PVC (cédula 40 y 280 PSI), de 1.00 metros de longitud, los cuales van enterrados 0.60 metro, lo que nos permitió tomar lecturas a los 10, 20, 30, 40 y 50 cm. de profundidad. Al mismo tiempo que se fue alcanzando las profundidades antes citadas durante la instalación de los tubos de acceso, se tomaron muestras de suelo para determinar la clase textural.

Determinación del estado hídrico de la planta

El estado hídrico de las hojas se determinó midiendo el potencial hídrico de hoja embolsada también denominado potencial hídrico de tallo (Ψ_h). Las mediciones se realizaron con periodicidad semanal durante toda la campaña de riego con una cámara de presión tipo Scholander.

Se midió una hoja de su cara oeste, en 2 hojas representativas de cada U.E. Dichas hojas se introducían en bolsas de plástico herméticas recubiertas de papel reflectante para evitar el calentamiento debido a la radiación solar y para que la hoja cerrara sus estomas y se equilibrará con el potencial del tallo. El embolsado se realizaba como mínimo 1 hora antes de realizar la medida y no se dejó pasar más de 30 segundos desde que se arrancaba la hoja hasta que se metía dentro de la cámara de presión, siempre dentro de la bolsa hermética. Tiempos más largos de 2 minutos desde que se arranca la hoja hasta que se empieza la medición provoca deshidratación de la hoja (Sellés et al., 2002).

Las lecturas se hicieron con lupa a simple observación en el momento que se observa una gota de agua en la sección del pecíolo cortado que quedó fuera de la cámara, se registra la presión alcanzada en el manómetro y esta se considera el Equivalente al potencial del agua de la planta. Después se libera

la presión de la cámara y se toma otra medición de la misma manera se trabajó con rapidez para prevenir que el material pierda excesiva cantidad de agua por transpiración y esto afecte el potencial de agua.

Las mediciones se hicieron una vez por semana y dos veces por día de medición, la primera medición se realizó entre las 5:30 a 6:30 de la mañana y la segunda medición entre las 12:00 a 13:00 del mediodía.

RESULTADOS

La programación de riego establecida demostró un efecto significativo en algunas variables variable de producción, así mismo por la presencia de temperaturas bajas extremas (heladas) en la zona de estudio se vio afectado al desarrollo del cultivo encontrándose en la fase de tuberización y, maduración del tubérculo lo cual influyo a que las variables de rendimiento no alcanzaran los datos esperados en cuanto al peso por tubérculo por planta. En la figura 1, se muestra el climograma durante el periodo del ensayo, lo cual indica una alta incidencia de precipitación en el mes de enero, correspondiendo a la fase fenológica inicial del cultivo, la precipitación efectiva acumulada de 83,00mm. La evaporación acumulada fue 107,90mm, según estos datos obtenidos se realizó la programación y calculó de riegos.

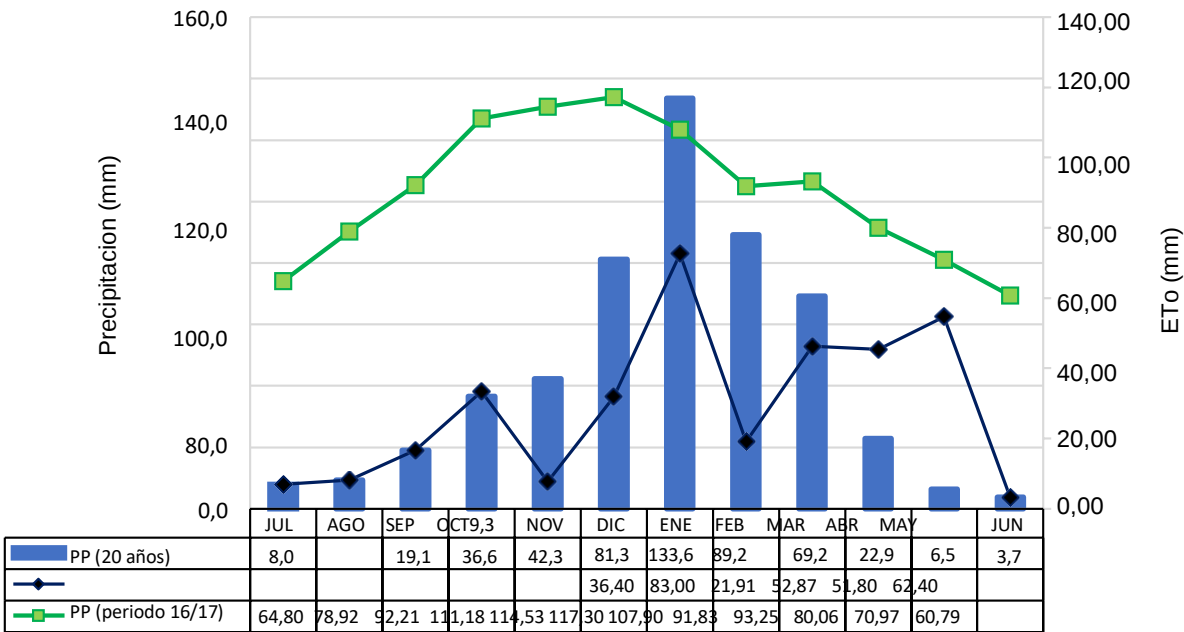


Figura 1. Registro de datos Temperatura promedios y Precipitación durante el desarrollo del cultivo gestión 2016 – 2017.

Se puede observar que los máximos valores de temperatura se registraron durante los meses de diciembre y marzo superando los 21 °C. En cambio, se presentaron heladas por debajo de 0 °C a partir de la última semana del mes de marzo hasta mediados del mes de junio. Sin embargo, durante el periodo inicial de crecimiento no se presentaron heladas que afecten al cultivo. La temperatura media adecuada para la papalisa está alrededor de 15-20 °C, sin embargo se ha observado que con temperaturas medias de 10°C se desarrolla perfectamente el cultivo, así mismo ocurre con temperaturas medias y altas de hasta 25°C, prosperando adecuadamente, al respecto se ha determinado que esta planta también posee mecanismos de escape y tolerancia a bajas temperaturas, pudiendo soportar hasta menos 2 °C, en determinadas etapas fenológicas, siendo la más tolerante en los primeros meses de desarrollo y las más susceptibles la floración y fase de tuberización.

Las temperaturas máximas y mínimas de la gestión agrícola 2016-2017 tienen un comportamiento casi similar al registro histórico de temperaturas de 40 años del sector de Choquenaira. Pero debido a la siembra retrasada, las heladas afectaron al cultivo en la etapa de floración a tuberización incidiendo de esta manera en el bajo rendimiento, por lo que el cultivo no llegó a completar su ciclo fenológico (251-258 días) y no tuvo el tiempo necesario para la asimilación del abonamiento y riego incorporado al suelo.

Total, agua aplicada, riego más precipitación efectiva

La cuantificación de los volúmenes totales de agua, aplicados mediante el riego y los aportes de la precipitación efectiva, en cada uno de los tratamientos. Se detalla en la siguiente tabla 1.

Tabla 1. Aporte total de agua aplicada mediante el riego y la precipitación efectiva en los diferentes tratamientos de investigación.

Nro. De Riegos	Pe	L1 100%	R(100%) + Pe	L2 75%	R(75%) + Pe	L3 50%	R(50%) + Pe
	1,12	8	9,12	8	9,12	8	9,12
1	2,1	10,15	12,25	7,61	9,71	5,08	7,18
2	9,58	13,31	22,89	9,98	19,56	6,66	16,23
3	1,82	58,82	60,64	44,12	45,94	29,41	31,23
4	2,1	97,91	100,01	73,43	75,53	48,95	51,05
5	0,42	92,97	93,39	69,73	70,15	46,48	46,9
6	19,43	4,54	23,96	3,4	22,83	2,27	21,69
7	1,12	93,01	94,13	69,76	70,88	46,51	47,63
8	0,84	36,11	36,95	27,08	27,92	18,05	18,89
9	0,42	3,18	3,6	2,38	2,8	1,59	2,01
10	0,7	109,93	110,63	82,44	83,14	54,96	55,66
11	0,98	45,8	46,78	34,35	35,33	22,9	23,88
12	0,14	55,88	56,02	41,91	42,05	27,94	28,08
13	0	113,82	113,82	85,36	85,36	56,91	56,91
Total (L/m ²)	74,28	735,41	775,05	551,5	591,2	367,7	441,98
Total (m ³ /ha)		7.354,07	7.750,48	5.515,50	5.911,96	3.677,03	4.419,80
Agua aplicada respecto al T1 (%)			100		76		57
Disminución de agua aplicada respecto al T1 (%)					24		43

La cantidad total de agua aplicada (Riego + Precipitación efectiva), durante todo el periodo vegetativo de la papalisa, para el tratamiento T1 (100% de la ETo, desde inicio del desarrollo hasta la tuberización) fue de 7.750,48 m³/ha, en cambio para el T2 (75% de la ETo, desde inicio del desarrollo hasta la tuberización) fue de 5.911,96 m³/ha, lo que indica

un ahorro de agua de 24 % con respecto al tratamiento uno (T1), para el caso del T3 (50% de la ETo, desde inicio del desarrollo hasta la tuberización) fue de 4.419,80 m³/ha, expresando un ahorro de agua del 43% en comparación con el Tratamiento uno (T1).

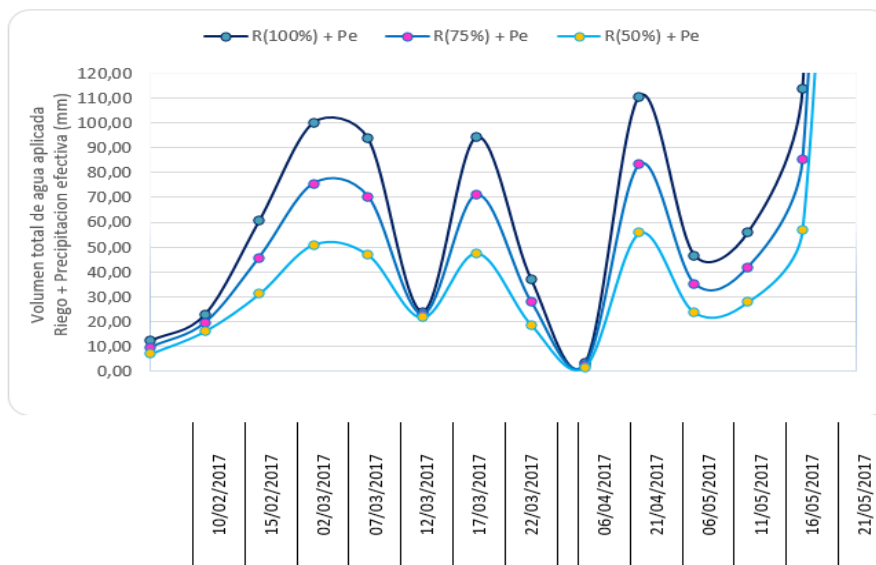


Figura 2. Volumen total de agua aplicada (Riego +Precipitación efectiva).

Total, de agua aplicada mediante riego

Para cubrir déficit hídrico de nuestro cultivo, se realizó la aplicación de agua adicional a las precipitaciones que no cubrieron el requerimiento de la ETo. En el T1, la cantidad de agua aplicada mediante el riego fue de 735,4mm, por hectárea equivaldría a 7.354,07 m3 la misma representaría el 94 % del total de agua aplicada (Riego1 + Pe); para el

T2, el riego fue de 158,1 mm, por hectárea equivaldría a 1.581,2 m3 la misma representaría el 28 % del total de agua aplicada (Riego2 + Pe); en el T3, el riego fue de 85,3 mm, por hectárea equivaldría 852,5 m3 la misma representaría el 18 % del total de agua aplicada (Riego3 + Pe). La determinación de humedad volumétrica evaluada a diferentes profundidades en todo el ciclo del cultivo de todos los siguientes datos:

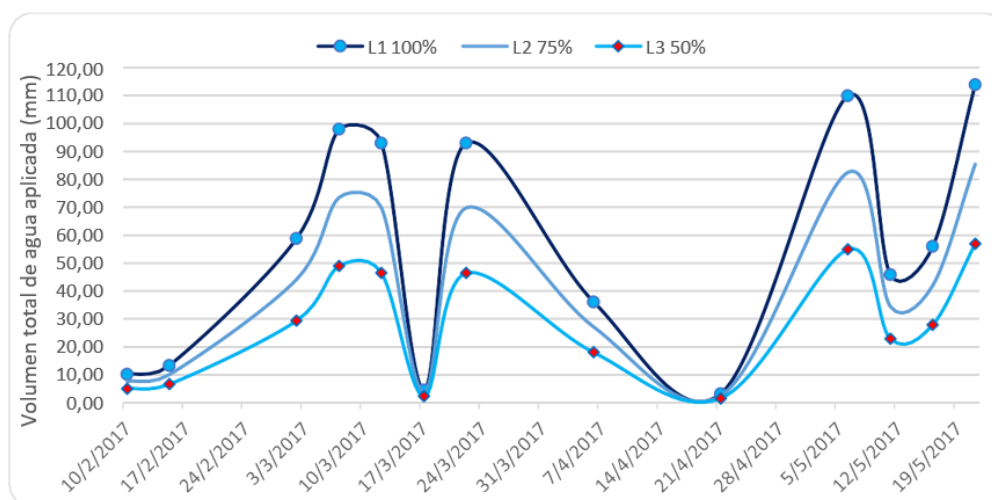


Figura 3. Volumen total de agua aplicada (Requerimiento de Riego)

El volumen total de agua que fue aplicada al cultivo de papalisa corresponde a la suma de la precipitación efectiva (Pe) más el riego (R), (R+PP), de esta

manera el volumen total de agua recibido por el cultivo durante su ciclo vegetativo tal como se puede apreciar en la tabla 2.

Tabla 2. Volumen total de agua aplicada, riego más precipitación

	Volumen de agua		Volumen de agua total	
	Riego		(Riego + Pe)	
Niveles de riego	(L m ⁻²)	(m ³ ha ⁻¹)	(L m ⁻²)	(m ³ ha ⁻¹)
L1 100%	735,41	7.354,07	775,05	7.750,48
L2 75%	551,55	5.515,55	591,20	5.911,96
L3 50%	367,70	3.677,03	441,98	4.419,80

La aplicación de riego al cultivo fue con una frecuencia de riego cada 5 días, de acuerdo a sus necesidades hídricas, donde se tuvo programado 24 riegos y que, por consecuencia de las precipitaciones excesivas, que superaron a la ETo, en 11 oportunidades, se disminuyeron a 14 aplicaciones.

De acuerdo con la tabla 2 y la figura 2, el volumen total de agua aplicada (R+Pe), para el tratamiento T1 (100% de lámina de riego calculada), fue de 7.750,48 m³/ha, el T2 (75 % de lámina de riego), alcanzó un valor de 5.911.96 m³/ha, y del T3 (50 % de lámina de riego) fue de 4.419,80 m³/ha. El volumen de aporte de agua por la Pe, fue por igual para los tres tratamientos con un valor de 7.285 m³/ha.

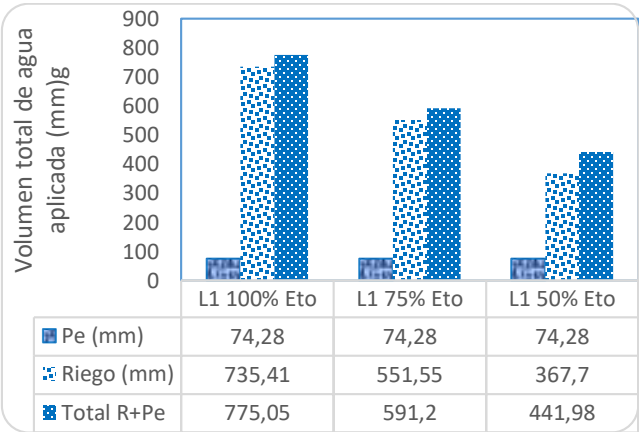


Figura 4. Volumen total de agua aplicado (Riego + Precipitación efectiva).

De acuerdo a la tabla 2 y la figura 4, el volumen total de agua aplicada (R+Pe), para el tratamiento T1 (100% de lámina de riego calculada), fue de 7.750,48 m³/ha, el T2 (75 % de lámina de

riego), alcanzó un valor de 5.911.96 m³/ha, y del T3 (50 % de lámina de riego) fue de 4.419,80 m³/ha. El volumen de aporte de agua por la Pe, fue por igual para los tres tratamientos con un valor de 7.285 m³/ha.

Según (PROINPA, 2003), los requerimientos de agua promedio es de 700 a 885 mm al año, por lo tanto, la aplicación de lámina total fue de 775.05 mm, el L1 (100 % de lámina de riego). La papalisa es adaptada a periodos secos del altiplano, no tolera periodos de excesiva lluvia. Se reportan requerimientos de agua entre los 750-1.400 mm., es fuera de estos límites afecta el crecimiento y la tuberización (Vimos et al., 1993).

Contenido de humedad en el suelo

El comportamiento de la humedad en el suelo (humedad volumétrica), antes de aplicar riego y después de aplicar riego, son descritas en las figuras 5,6 y 7.

La evolución de la humedad en el suelo en la fase del desarrollo del cultivo de papalisa, para el T1, antes de aplicar riego en las tres primeras evaluaciones la humedad se encontraba por encima de la PMP, no obstante, después de realizados los riegos el contenido de humedad se encontró en el intervalo de CC a PMP, en la cuarta evaluación se hicieron presentes las PP, de modo que antes de aplicar riego, el contenido de humedad se encontró dentro del intervalo de humedad aprovechable, pero no lo suficiente para cubrir el requerimiento de la ETo, y por consiguiente se aplicó riego, incrementando el contenido de humedad.

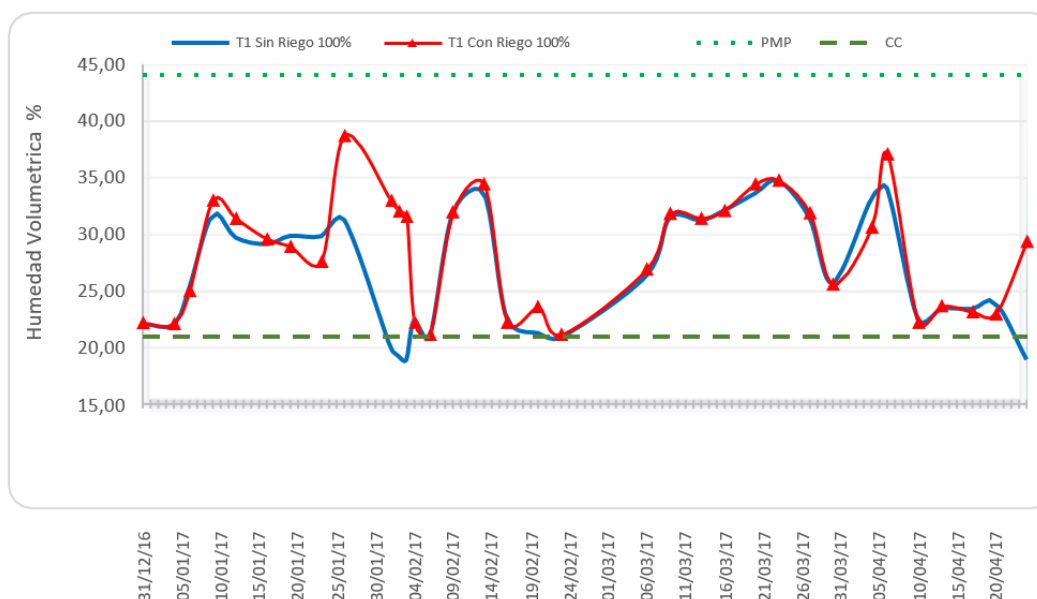


Figura 5. Contenido de agua en el suelo (Humedad volumétrica), para el tratamiento 1, evaluadas antes de riego y después de riego.

En la figura 5 se observa la evolución de la humedad del suelo para el T1, en la fase del cultivo de papalisa, se realizó 24 evaluaciones, en las primeras tasaciones antes y después de riego, la humedad permaneció dentro del intervalo de la humedad aprovechable, en la evaluación séptima antes de aplicar riego la humedad descendió por debajo del PMP, en el registro de evaluación decima cuarta antes del riego el contenido de humedad alcanzó un valor de 27% donde las PP y el riego aumentaron su contenido de humedad a 35%, resultó en los rangos de para nuestro cultivo y por entrar a la etapa final de la tuberización, con una precipitación pluvial de 62,4 mm.

Según Padilla, 2014, las condiciones de humedad deben ser adecuadas para el suelo, para obtener un mayor porcentaje de emergencia y un normal desarrollo de la planta. La humedad excesiva, sin embargo, reduce la aireación y en consecuencia afecta al crecimiento de las raíces, estolones y los tubérculos, de ahí la importancia de la humedad del suelo durante el ciclo del cultivo. En el caso de la comunidad existió un déficit de humedad en ambas parcelas, lo que reflejó una importante influencia de las heladas en el cultivo.

Al respecto Condori, et.al. (1994), menciona que la humedad del suelo debe ser suficiente para el

cultivo; aunque resiste la aridez, en los terrenos secos las ramificaciones del rizoma se alargan demasiado, el número de tubérculos aumenta, pero su tamaño se reduce considerablemente. Además, antes de la tuberización un ligero déficit hídrico favorece el desarrollo de las raíces.

En la fase Emergencia se realizaron siete evaluaciones, la valoración de humedad del suelo antes de aplicar el quinto riego, fue de 26% posterior al riego aumentó a 32%, el sexto riego no fue necesario, debido a las PP que incrementaron el contenido de humedad, pero no llegó por encima la CC, en la séptima y décima evaluación las PP excedieron el requerimiento de la ETo, descartando el riego, sin embargo, se prosiguió la evaluación de la humedad considerando el intervalo de frecuencia de riego, en la octava evaluación la humedad del suelo pre riego fue de 25% y post riego de 33%. En la evaluación décimo cuarta, décimo sexta y décimo séptima, las PP no fueron suficientes por lo que se procedió a aplicar riego, la evaluación antes de riego se encontró en el intervalo de CC a PMP, en cambio para la evaluación después de riego se incrementaron manteniéndose en el rango permitido a CC.

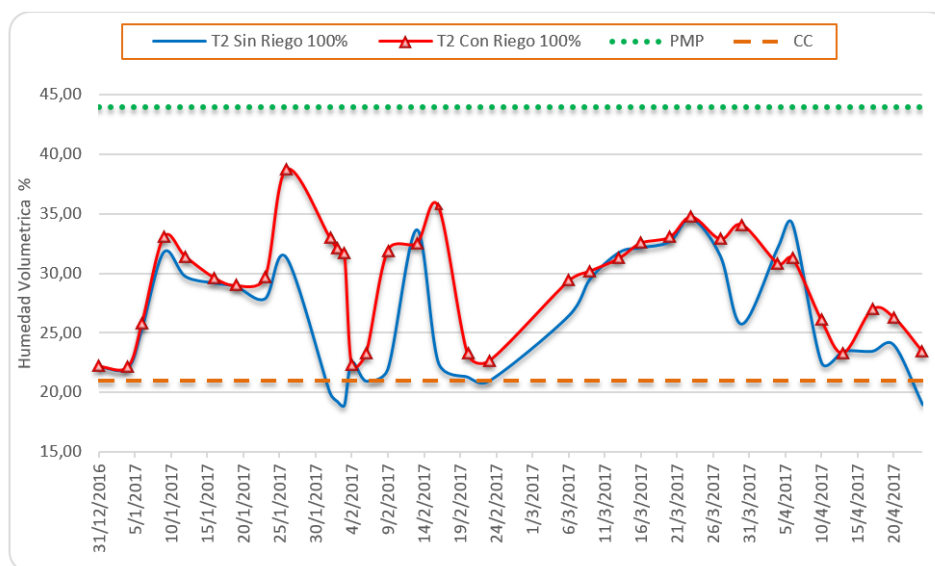


Figura 6. Contenido de agua en el suelo (Humedad volumétrica), para el tratamiento 2, evaluadas antes de riego y después de riego.

La evolución de la humedad del suelo para el T2 (L75%), en el cultivo de papalisa, se realizó cuatro evaluaciones, en las dos primeras tasaciones antes y después de riego, la humedad permaneció dentro del intervalo de la humedad aprovechable, en la cuarta evaluación antes del riego el contenido de humedad alcanzó un valor de 31% donde las PP y el riego aumentaron su contenido de humedad a 30,5% (Figura 6).

En la fase desarrollo se realizaron dos evaluaciones, la tasación de humedad del suelo antes de aplicar el quinto riego alcanzó un valor de 30,5% posterior al riego, aumentó a 40%. La aplicación del sexto riego no fue necesaria debido a las PP, sin embargo, se evaluó el contenido de humedad que se mantuvo en el intervalo permitido CC.

Las condiciones de humedad del suelo antes de aplicar riego para la séptima a la décimo primera evaluación descendió 18% por debajo del rango de PMP y después de la aplicación del riego la humedad llegó al 21,3%, la humedad del suelo se mantuvo en ese rango gracias a las PP, en cambio, la humedad del suelo menguó en la octava evaluación, debido a las insuficientes PP por lo que se procedió al riego, sin embargo se obtuvo un valor de 23% de humedad volumétrica antes del riego, y 35% en post riego, para la novena, décima y décimo primera evaluación el contenido de humedad, se encontró en el intervalo de la humedad aprovechable para pre y post riego, el comportamiento de la humedad del suelo antes de aplicar riego manifestaron la permanencia en el intervalo de CC a PMP obteniendo valores de humedades que requiere el cultivo de papalisa.

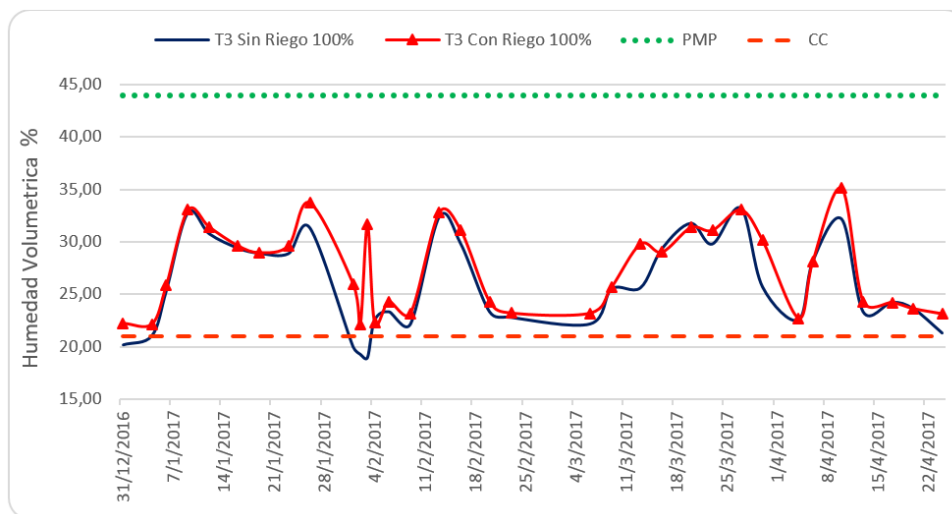


Figura 7. Contenido de agua en el suelo (Humedad volumétrica), para el tratamiento 3, evaluadas antes de riego y después de riego.

El comportamiento de la humedad en el suelo en la toda la fase de desarrollo del cultivo para el T3, antes y después de realizado el riego en las dos primeras evaluaciones la humedad se encontraba en el intervalo de CC a PMP, para la quinta evaluación antes del riego la humedad decreció por debajo del PMP, en la sexta evaluación no fue necesario el riego, sin embargo la pre evaluación señaló que la humedad se encontraba disponible para el inicio de la tuberización, en cambio en la post evaluación la humedad aumentó debido a algunas PP.

El comportamiento de la humedad del suelo se mantuvo en el intervalo de la humedad aprovechable, y en las evaluaciones siguientes después de realizado el riego el contenido de humedad aumento, pero no sobrepaso la CC. En la evaluación octava a décimo primera, antes de aplicar riego, el contenido de humedad se encontró en el intervalo de CC a PMP, gracias a las PP, durante las evaluaciones después de realizados los riegos, en la octava, décima y décima primera permanecieron en el rango de CC a PMP.

En la fase de inicio de la tuberización el comportamiento de la humedad del suelo, en las evaluaciones, décimo cuarta, décimo sexta y décimo séptima demandaron riego, las PP fueron insuficientes para cubrir el requerimiento de la ET_o, siendo las PP más la irrigación las que mantuvieron el

agua disponible para las plantas en el intervalo de CC a PMP, por otra parte, las evaluaciones décimo segunda, décimo tercera y décimo quinta, no requirieron irrigación, gracias a las vastas PP, manteniendo la humedad del suelo en el intervalo de CC a PMP.

Determinación del potencial hídrico foliar

En la Figura 8 se presenta los datos obtenidos en campo para el potencial hídrico foliar en MPa para los tratamientos T1 E1L1 (deficitario 1: establecimiento), T4 E2L1 (deficitario 2: establecimiento, desarrollo e inicio de tuberización) y T7 E3L1 (desarrollo e inicio de tuberización) que fueron seleccionados para las mediciones.

Los datos presentados corresponden a la medición en campo cerca de las 6:30 de la mañana, donde se tiene un rango de mediciones de -10 a -2 MPa para los tres tratamientos. Así mismo también se puede observar que cuando la humedad del suelo es baja (entre 5 a 10%) el potencial registrado es de -1,5 MPa y menores a este valor sugiriendo que el cultivo retiene agua en sus tejidos con mayor fuerza que cuando existe mayor humedad en el suelo. Mayores valores de humedad producen menores valores de potencial pues el cultivo no requiere retener con demasiada fuerza el agua en sus tejidos.

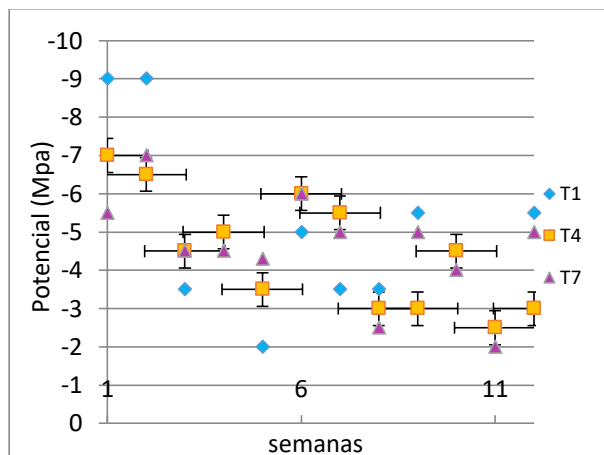


Figura 8. Medición de la conductancia durante doce semanas de los T1, T4 y T7 (L1 RR100%).

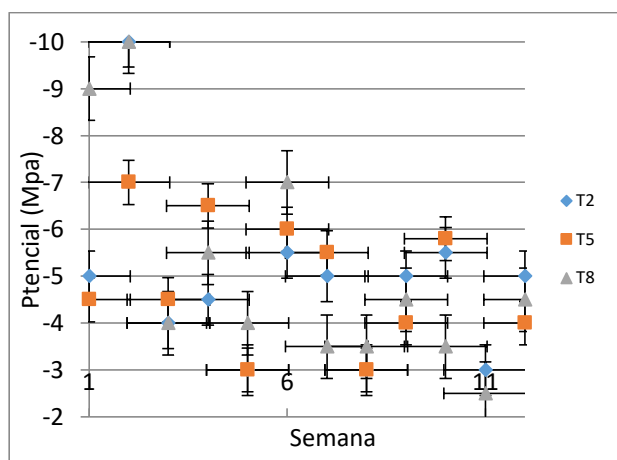


Figura 9. Medición de la conductancia durante doce semanas de los T2, T5 y T8 (L2 RR75%).

Adicionalmente se realizó una medición del potencial hídrico durante las doce últimas semanas de febrero y primeros días de abril como se observa en la Figura 9, con el fin de evaluar el impacto de las bajas temperaturas y sequías que ocurrió en la zona. Los valores de potencial registrados en este caso son similares a los obtenidos en la Figura 9. Es decir que el menor contenido de humedad en el suelo provoca que la planta retenga agua en sus tejidos con mayor fuerza que cuando existe humedad.

Con el fin de explorar la evolución del potencial hídrico foliar durante un día en los tratamientos T1, T4 y T7 se observó la evolución del potencial. Como se ve en la Figura 8 los tres tratamientos obtuvieron comportamientos muy similares en sus valores de potencial. En todos los casos el potencial del amanecer fue más alto (-2,5 MPa) por la mañana y a medida que va aumentando la temperatura gradualmente el potencial también

va incrementando, llegando a un punto de máximo estrés hídrico alrededor de las 13:30 de -7 MPa para los mismos, posteriormente a medida que va reduciéndose la temperatura, el potencial va disminuyendo nuevamente.

La medición de potenciales de agua y adicionalmente una medición simultánea del contenido relativo de agua (CRA) se utilizan para establecer grados de sequía; por lo general se utiliza directamente los valores de potenciales de agua y se trabaja con esos valores correlacionándolos con otras variables (García, 2008).

CONCLUSIONES

La temperatura es determinante para el desarrollo de la investigación, los datos registrados por la consola en las gestiones (2016-2017) muestran las temperaturas mínimas registradas que indican la presencia de temperaturas bajas durante el ciclo del cultivo. La temperatura registrada en fecha 22/04/17 de -5,4°C es la que ocasionó daños a la papalisa, estas condiciones climáticas afectaron a que el cultivo no llegue al finalizar su desarrollo, este inconveniente se presentó en la fase de tuberización inicio de la floración y antes de la madures fisiológica, resultó dañado la parte foliar (hojas).

Las temperaturas bajas registradas desde los meses de marzo abril y mayo, con el valor mínimo registrado que fue de -8,4 °C lo cual afectó al desarrollo de cultivo, así mismo no pudiendo obtener variables de producción.

Se pudo percibir que, con la aplicación de un riego deficitario solamente durante el establecimiento para asegurar la emergencia, no es suficiente para garantizar altos rendimientos de tamaño grande. La estrategia de riego deficitario y con aplicaciones de riego durante las diferentes fases fenológicas y un manejo adecuado como una siembra temprana se garantiza buenos rendimientos.

Ante eventos de escasez hídrica en la región o competencia del recurso con otros cultivos, es posible disminuir hasta en un 43% el aporte de agua 4.419,80 m³/ha, en cultivo de papalisa sin afectar variables de rendimiento aplicando L3 (lamina 50% ETc desde inicio del desarrollo hasta la tuberización),

en cambio para el L2 (lamina 75% de la ETc, desde inicio del desarrollo hasta la tuberización) fue de 5.911,96 m³/ha, lo que indica un ahorro de agua de 24 % con respecto al tratamiento uno L1 (lamina 100% desde inicio del desarrollo hasta la tuberización) fue de 7.750,48 m³/ha, Sin embargo, los efectos del déficit hídrico aplicados se reflejan en un mayor ahorro del recurso hídrico y permita darle mayor sustentabilidad para el productor.

Se observó que mediante la combinación de la información de la demanda evaporativa de la atmósfera y la evolución del contenido de humedad del suelo es posible desarrollar una programación del riego (dosificación, duración y frecuencia del riego) con un elevado grado de eficiencia. De lo que se puede concluir que los sensores del tipo FDR pueden ser una herramienta muy útil para la programación del riego si se estudian las tendencias y variaciones de humedad relativas.

Las mediciones de potencial realizadas con la cámara Scholander ayudan a conocer el estado hídrico de la planta. Los resultados demostraron que la papalisa se encuentra influenciada por la falta de agua al igual que otras especies cultivadas y que el estrés hídrico produce una mayor retención de agua en sus tejidos. Esto combinado con la reducción de la conductancia estomática produce finalmente un menor rendimiento. También ha mostrado que las condiciones de extrema sequedad del ambiente en el Altiplano producen estrés a los cultivos incluso cuando estos cuentan con el agua en el suelo. Esto de cualquier forma reduce la conductancia y afecta en el rendimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith, M. 2006. Evapotranspiración del Cultivo: Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 299 p.
- Condori, P.; Franco, J. 1994. Evaluación de cultivos andinos al ataque de *Nacobbus Aberrans*. En: Informe anual 1993-94 IBTA-PROINPA. Cochabamba, Bolivia. p. IIIN 50- IIIN 52.
- García, M.; 2008. Manejo de riego: Uso de instrumentos de medición de agua del suelo y del estado hídrico de los cultivos, presentación de casos de estudio incluso en riego deficitario. (En línea). Consultado 2 de marzo 2013. Disponible en: <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia vegetal/>
- Metodos de medicion estado hidrico plantas.pdf.
- De La Fuente, M.; 2008. "Caracterización geométrica, ecofisiológica y evaluación agronómica de sistemas continuos de vegetación libre (Sprawl) vs. Espaldera para atenuar la sobreexposición de hojas y racimos en cv. Syrah (*Vitis vinifera* L.) en viñedos de zonas cálidas". Tesis Dr. Ing. Agr. Madrid – España. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela técnica superior de ingenieros agrónomos. 272 p.
- Mamani, R. 2007. Partición de biomasa y evapotranspiración del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), sometidas a estrés hídrico en diferentes etapas de crecimiento. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz- Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 104 p.
- Padilla, D. 2014. Evaluación de diferentes tratamientos hídricos, en el cultivo de la vid (variedad moscatel de Alejandría), a través de la programación de riego deficitario controlado, en el municipio de Luribay. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz- Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 145 p.
- PROINPA. 2003. Producción de Oca (*Oxalis tuberosa*), Papalisa (*Ullucus tuberosus*) e Isaño (*Tropaeolum tuberosum*): Importancia, zonas productoras, manejo y limitantes. Área Temática RRG (Recursos Genéticos). Documento de trabajo N° 20. Cochabamba, Bolivia. 46 páginas.
- Selles V., Gabriel Y Selles M., Iván.; 2002. "Riego Deficitario Controlado en Olivos". Estrategias de Riego para Enfrentar Situaciones de Escasez de Agua en Frutales. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 59. 48p.
- Vimos, C.; Nieto, C.; Rivera, M. 1993. El Melloco; características, técnicas de cultivo y potencial en Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Quito, Ecuador. 24 p.