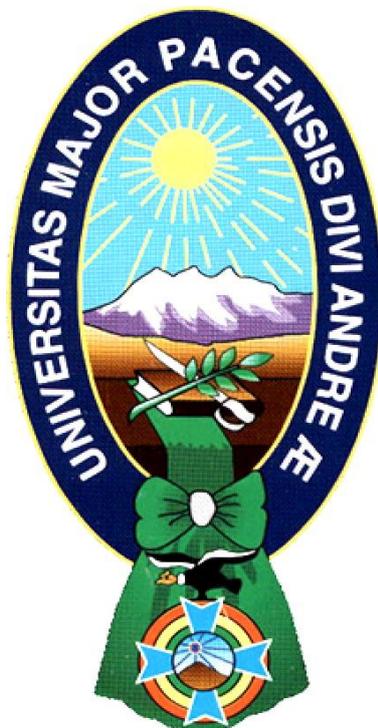


UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DEL MANEJO DE AGUA DE RIEGO EN
DIFERENTES MOMENTOS FISIOLÓGICOS DEL CULTIVO
PERA (*Pyruscomunnis*) Var. WILLIAMS EN EL DEPARTAMENTO
CANELONES, URUGUAY**

Presentado por:
QUELCA MAMANI SILVIA

LA PAZ – BOLIVIA

2019

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**EVALUACIÓN DEL MANEJO DE AGUA DE RIEGO EN
DIFERENTES MOMENTOS FISIOLÓGICOS DEL CULTIVO
PERA (*Pyruscomunnis*) Var. WILLIAMS EN EL DEPARTAMENTO
CANELONES, URUGUAY**

*Tesis de Grado como requisito
parcial para optar el Título
de Ingeniero Agrónomo*

QUELCA MAMANI SILVIA

ASESORES:

Ing. Agr. Rolando Céspedes Paredes

Dr. Ing. Agr. Claudio García Gallareta

REVISORES:

Ing. M.Sc. Paulino Ruiz Huanca.....

Ing. M.Sc. Genaro Serrano Coronel.....

Ing. M.Sc. Fanny B. ArraganTancara.....

Aprobada:

Presidente Tribunal Examinador

DEDICATORIA

El trabajo va dedicado primeramente a Dios, a mis padres Felipe Quelca y Teodosia Mamani por todo el cariño que me brindaron y el enorme sacrificio que realizaron para fortalecer mi educación día a día.

A mis hermanos Javier F., Willy R., Grover R. y a mis hermanas Gladys V., Elizabeth, Marleny a mis Cuñados Norberto, Claudia quienes me brindaron su cariño, apoyo, colaboración cuando los necesitaba.

A todos mis sobrinos por darme alegrarme en mis días difíciles y que con su sonrisa siempre me demostraron que confiaron en mí.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos:

A Dios por darle la oportunidad de vivir y siempre brindarme salud, sabiduría y fuerza para culminar una etapa más de mi vida.

A la Universidad Mayor de San Andrés y la Facultad de Agronomía por darme la oportunidad de fortalecer mi formación profesional.

Agradecimiento muy especial a mí Asesor de Tesis Ing. Rolando Céspedes por confiar en mi persona y ayudarme en todo momento para el logro de mi Tesis.

A mis revisores Ing. Paulino Ruiz, Ing. Genaro Serrano y la Ing. Fanny Arragan por brindarme el apoyo, darme las correcciones pertinentes para la culminación de mi trabajo tesis.

A la Estación Experimental “Wilson Ferreira Aldunate” INÍA LAS BRUJAS por darme la oportunidad de realizar este trabajo y por todo el apoyo, consejo que aportaron en mi trabajo de campo.

Al Dr. Claudio García que confió en mi persona para brindarme la oportunidad y ayudarme siempre en el trabajo de tesis.

A todos los técnicos de la Estación Experimental “Wilson Ferreira Aldunate” INÍA LAS BRUJAS por brindarme siempre su colaboración, consejo durante mi trabajo de campo en Uruguay.

A mis padres por el esfuerzo económico que realizaron para darme la oportunidad en conocer el País de Uruguay y así poder culminar con el trabajo de campo para poder terminar la última etapa de mi trabajo.

A todos mis amigos y compañeros de la facultad de Agronomía por todos los consejos y los momentos inolvidables que vivimos durante el ciclo de estudiando en la facultad.

RESUMEN

El presente trabajo se ejecutó en el predio del Sr. Richard García, Departamento Canelones, Juanico que está situado en el País de Uruguay a 44,8 km. De Monte Video. El objetivo planteado del trabajo de investigación fue: Evaluar el manejo de agua en diferentes momentos fisiológicos del cultivo de Pera (*Pyruscommunis*) var. William`s en el departamento Canelones, Uruguay.

Se trabajaron con 3 tratamientos en los diferentes momentos fisiológicos del cultivo, el tratamiento testigo fue sin riego durante todo el ciclo de la investigación, el tratamiento 1 fue riego a los 50 días de la plena floración (riego 4 veces a día por una hora) y el tratamiento 2 fue riego a los 65 días de la plena floración (riego 4 veces al día por una hora). Todos los tratamientos constan con diferentes profundidades usando sensores de humedad.

Durante el tiempo de trabajo de investigación también se pudo observar las precipitaciones en los días de riego programado, adjuntando a la lámina de riego aplicado en el transcurso del trabajo. Como en el país vecino Uruguay las precipitaciones varían cada año.

Dependiendo de los resultados y los factores de estudio los mejores tratamientos fueron:

En caso del potencial hídrico de la planta el tratamiento 2 nos dio un resultado alto por el estrés de la planta. Y los el que salió menor estresado fue el tratamiento 1. Esto tal vez puede ser por la ayuda de las precipitaciones durante los meses de trabajo.

Hablando del rendimiento fue el tratamiento 1 con una producción de 16010 kg/ha y el menor resultado que nos dio fue el tratamiento testigo con una producción de 12164 kg/ha.

SUMMARY

This work was carried out on the site of Mr. Richard García, Canelones Department, Juanico, which is located in the Country of Uruguay, 44.8 km away. From Monte Video. The stated objective of the research work was: To evaluate the water management at different physiological moments of the pear (*Pyruscomunnis*) var. William`s in the department Canelones, Uruguay.

They worked with 3 treatments at the different physiological moments of the crop, the control treatment was without irrigation during the entire research cycle, treatment 1 was irrigation 50 days after full flowering (irrigation 4 times a day for one hour) and treatment 2 was irrigation at 65 days of full flowering (irrigation 4 times a day for one hour). All treatments consist of different depths using humidity sensors.

During the research work time, it was also possible to observe the rainfall on the days of programmed irrigation, attaching it to the irrigation sheet applied during the course of the work. As in the neighboring country Uruguay, rainfall varies every year.

Depending on the results and the study factors the best treatments were:

In case of the water potential of the plant, treatment 2 gave us a high result due to the stress of the plant. And the one who was less stressed was treatment 1. This may be due to the help of rainfall during the months of work.

Speaking of the yield was treatment 1 with a production of 16010 kg / ha and the lowest result that gave us was the control treatment with a production of 12164 kg / ha.

INDICE GENERAL

Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS	3
2.1	Objetivo General.....	3
2.2	Objetivo Especifico	3
3	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1	Origen del cultivo de Pera	3
3.1.1	Origen a Nivel Mundial	3
3.1.2	Origen de la Variedad Williams	4
3.2	Descripción y Morfología del Cultivo de Pera	4
3.2.1	Botánica del Cultivo de la Pera	4
3.2.2	Descripción de los Arboles	4
3.2.3	Desarrollo de las Hojas	5
3.2.4	Desarrollo de las Yemas	5
3.2.5	Desarrollo de las Flores.....	5
3.2.6	Plagas y Enfermedades del Cultivo de la Pera	5
3.3	Requerimientos Agroecológicos del cultivo	7
3.3.1	Horas frio	7
3.3.2	Humedad	8
3.4	Momentos Fenológicos del cultivo de pera	8
3.5	Análisis de crecimiento y desarrollo	10
3.6	Distribución del Cultivo de Pera en Uruguay	10
3.6.1	Producción de Pera	10
3.6.2	Análisis de Crecimiento	12
3.7	Riego en Frutales	12
3.7.1	Riego	12
3.7.2	Riego Deficitario	13
3.7.3	Lamina de riego.....	14
3.7.4	Riego en Frutales	15

3.8	Necesidades Hídricas de los Cultivos	17
3.8.1	Variables Climáticas	18
3.8.2	Evapotranspiración.....	18
3.8.3	Relación de la Radiación.....	22
3.8.4	Contenido Hídrico del Suelo.....	24
3.8.5	Disponibilidad de Agua en el Suelo.....	24
4	LOCALIZACIÓN	25
4.1	Ubicación Geográfica	25
4.2	Características Geográficas	26
4.2.1	Análisis Geográfico de Uruguay.....	26
4.2.2	Análisis de Suelos de Uruguay	26
4.2.3	Temperatura Máxima y Mínima Datos Históricos 2001-2014.....	29
4.2.4	Precipitaciones Pluviales Datos Históricos Desde 2001 a 2014.....	30
5	MATERIALES Y MÉTODOS	31
5.1	Materiales	31
5.1.1	Material Biológico	31
5.1.2	Material de Gabinete	31
5.1.3	Herramienta Utilizada en Campo	31
5.1.4	Equipo Utilizados.....	32
5.2	Metodología.....	32
5.2.1	Método Descriptivo.....	32
5.2.2	Diseño Experimental	32
5.2.3	Factores de Estudio.....	32
5.2.4	Dimensiones de la Parcela.....	33
5.2.5	Método de Riego Utilizado	34
5.2.6	Cálculo de la Evapotranspiración de Cultivo (ETc).....	34
5.3	Descripción de las Actividades.....	35
5.3.1	Distribución de las Repeticiones	35
5.4	Riego General de la Parcela	35
5.4.1	Descarga de la Toma de Datos de los FRD.....	36

5.4.2	Descarga de la Toma de Datos de los Contadores	36
5.4.3	Fecha de Inicio de Trabajo	36
5.4.4	Fertilización	37
5.4.5	Control de Plagas y Enfermedades.....	37
5.4.6	Cosecha	38
5.4.7	Características Físicas del Suelo	38
5.5	Variables de Respuestas	40
5.5.1	Parámetros del Estado Hídrico de la Planta	40
5.5.2	Parámetros del Crecimiento Vegetativo y Análisis de la Calidad de la Cosecha de la Pera	41
5.5.3	Parámetro de Producción.....	43
5.6	Análisis Estadísticos.....	44
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
6.1	Descripción de las características climáticas.....	45
6.1.1	Evolución de las temperaturas en el periodo de la Pera.....	45
6.1.2	Evolución de la velocidad del viento y la humedad.....	46
6.1.3	Precipitación durante en el periodo de la Pera	47
6.1.4	Relación ETc con Precipitación.....	48
6.1.5	Radiación Solar	49
6.2	Relación de la Evolución de las precipitaciones pluviales y de la evapotranspiración de referencia en el periodo vegetativo de la Pera.....	49
6.2.1	Curva de Caracterización de Agua en el Suelo	50
6.2.2	Lamina de Riego Aplicado en el Cultivo de Pera.....	52
6.3	Análisis del estado hídrico de las plantas.	57
6.3.1	Potencial Hídrico en la Planta	57
6.3.2	Determinación de la Calidad de Fruta.....	58
7	CONCLUSIONES.....	63
8	RECOMENDACIONES	65
9	BIBLIOGRAFÍA.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 Curva simple sigmoidea de crecimiento de frutos de pepita en función de días después de plena floración, con las tres fases de crecimiento (Gil, 1991).....	10
Figura 2. Distribución de frutales de hoja caduca por MGAP Y DIEA, 2000 a nivel del país de Uruguay.	11
Figura 3. Exportaciones de frutas frescas de Uruguay.....	11
Figura 4. Producción total de Pera.....	12
Figura 5. Los procesos de evaporación y transpiración	18
Figura 6. Factores que afectan la evapotranspiración con referencia a conceptos relacionados de ETo.	21
Figura 7 Ubicación geográfica del área de investigación en el departamento Canelones, Juanico, Uruguay.....	26
Figura 8 Mapa generalizado de los suelos dominantes de Uruguay.	28
Figura 9. Análisis de temperatura máxima y mínima en el departamento de Canelones, en la estación INIA LB con datos anuales de 2001 a 2014.....	29
Figura 10. Análisis de precipitaciones en el departamento de Canelones, en la estación INIA LB con datos anuales 2001 a 2014.	30
Figura 11. Croquis de la parcela experimental	34
Figura 12. Sensores de humedad.....	36
Figura 13. Fumigación contra plagas y enfermedades.....	37
Figura 14. Recolección de Peras	38
Figura 15. Cámara de presión para determinar el estado hídrico de la hoja....	41
Figura 16. Ceptometro (Decagom Devices Inc) instrumento para determinar la intersección de luz.	41
Figura 17 Crecimiento de la fruta para determinar la curva de crecimiento.....	42
Figura 18 Las mediciones de los frutos para determinar el tamaño del fruto	42
Figura 19 Evaluación de la firmeza de la fruta para determinar la firmeza de la fruta	43
Figura 20 Acumulación de los frutos por tratamiento.....	44

Figura 21 Comportamiento de la temperatura máxima, media y mínima (°C), registradas en la gestión 2014 a 2015, en la comunidad Juanico.....	46
Figura 22 Relación Velocidad del viento y Humedad relativa	47
Figura 23 Radiación Solar	49
Figura 24 Relación de la ETo y la precipitación	50
Figura 25 Curvas de característica de agua en el suelo en Juanico. Datos estimados a partir de parámetros de la ecuación de Van Genuchten	52

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1 Enfermedades comunes en el cultivo de la pera y su control.....	6
Cuadro 2 Requerimiento agroecológico del cultivo de la pera.....	7
Cuadro 3 Requerimiento en frío de especies frutales de hoja caduca(n° horas <7,2°C)	7
Cuadro 4. Clasificación de suelos y coordenadas geográficas para los suelos de trabajo de investigación en los diferentes tiempos de riego.	40
Cuadro 5 Registro de datos climáticos promedios durante el desarrollo del cultivo de Pera variedad Williams, Gestión 2014 y 2015	45
Cuadro 6 Las precipitaciones durante la zafra 2014/2015 en el cultivo de pera en predios del señor Richard.....	47
Cuadro 7 Acumulación y variación de la evapotranspiración de cultivo con la precipitación acumulada.....	48
Cuadro 8 Infiltración de agua en el suelo. (Ajuste por la ecuación de Kostiakov 1936, predio Juanico).....	50
Cuadro 9 Tasa de infiltración e infiltración acumulada para el cultivo de pera en Juanico.	50
Cuadro 10 Láminas de agua en diferentes tratamientos más la acumulación de la precipitación.	56
Cuadro 11 Análisis estadístico para determinar el potencial hídrico en la hoja de la pera var. Williams.....	57
Cuadro 12 Prueba de medias de Tukey.	58
Cuadro 13Análisis estadístico del tamaño de fruta para diferentes láminas de riego.	59
Cuadro 14 Prueba de Medias de Tukey.....	59
Cuadro 15 Análisis estadístico para determinar los resultados de la evaluación de la firmeza de la fruta.	60
Cuadro 16 Análisis estadístico para determinar la diferencia de sólidos soluble en el cultivo de pera.	61
Cuadro 17 Prueba de Medias de Tukey.	62

1 INTRODUCCIÓN

El sector frutícola ocupa en Uruguay una superficie total de 25.500 ha., algo más de la mitad están concentradas en los departamentos de Canelones y Montevideo y el resto está distribuido en todo el país con participación principal de olivares y viñedos. De la superficie total, 7400ha, son ocupadas de frutales de hoja caduca con una producción total de 92.4 mil ton. (Ministerio de Ganadería, Agropecuaria y Pesca-Dirección de Estación Agropecuaria Uruguay, 2013).Las principales especies de hoja caduca son el manzano (*Malus domestica* Borkh) con el 50%, el duraznero (*Prunus pérsica* L.) con 27% y el peral (*Pyruscomunis* L.) con 13%.

El cultivo de pera en Uruguay abarca una superficie de 841 ha, con una producción promedio de 16.044ton (Ministerio de Ganadería, Agropecuaria y Pesca-Dirección de Estación Agropecuaria Uruguay, 2013). El destino de la producción es principalmente el mercado interno para consumo fresco, las ventas al exterior son marginales. La producción de pera se realiza en la zona sur, en los departamentos Canelones, Montevideo, San José y Colonia.

Las precipitaciones anuales en Uruguay que se registraron en los últimos años, muestran los cambios que surgieron tras el cambio climático según los registros que se tomaron de la Estación Meteorológica INIA Las Brujas. Los meses de trabajo de investigación que registraron la Estación Meteorología INIA Las Brujas también registraron los cambios durante la investigación.

Según Kriedemann (2003).Indica que el riego fue utilizado por primera vez a mediados de los años 70, por un grupo de investigadores dirigidos por el Profesor David Chalmez en Australia lo utilizaban para describir la aplicación de estrategias de déficit de agua basado en la evapotranspiración de los cultivos.

El riego también es útil en los casos en los que la demanda hídrica no puede ser satisfecha con los recursos disponibles (Girona, 1996),el investigador Behboudian trabajado sobre el tema en Olivar, Pera, Ciruela, Cítricos y otros frutales, para determinar condiciones favorables o desfavorables de su aplicación en los

cultivos, estableciendo para cada uno de ellos los rangos en los que se obtienen mejores resultados.

Desde los primeros años de investigación en fruticultura los investigadores tomaron como referencia tres beneficios principales para el riego en frutales: el crecimiento del árbol (durazno, manzano, peral, Brun 1985), aumento del rendimiento (durazno, y aumento del tamaño del fruto (durazno, manzano, peral, Brun 1985).

En Uruguay los últimos años se verificó un incremento de 10% en rendimiento de los frutales, sin embargo, en la zafra 2013 el cultivo de pera no manifestó mejores rendimientos ya que la caída de la producción fue casi la mitad en relación a la zafra 2012. Desafortunadamente, pocos experimentos de largo plazo en riego de árboles frutales se han realizado en las últimas décadas (Fereret *al.*, 1990), de manera de estudiar el efecto que tiene el manejo del riego sobre la producción de fruta en cantidad y calidad.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Evaluar el manejo de lámina de riego en diferentes momentos fisiológicos del cultivo de Pera (*Pyrus comunnis.*) var. William's en el departamento Canelones, Uruguay.

2.2 Objetivo Especifico

- Analizar el estado hídrico de las plantas del cultivo de Pera (*Pyrus comunnis.*) var. William's, bajo condiciones de riego deficitario.
- Determinar la lámina de riego adecuado en el cultivo de Pera (*Pyrus comunnis.*) var. William's.
- Evaluar el rendimiento del cultivo de Pera (*Pyrus comunnis.*) var. William's bajo las condiciones establecidas con las diferentes láminas de riego aplicado a diferentes momentos fisiológicos.

3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Origen del cultivo de Pera

3.1.1 Origen a Nivel Mundial

El cultivo de Pera tiene origen en Asia central, evolucionaron en dos grupos generales de especies, orientales, nativas de Asia oriental y nororiental, y especies accidentales nativas de Europa y Noroccidente de Asia. Las Peras asiáticas son originarias de Mongolia y son extensamente cultivadas de China y Japón. En el occidente deben ser cruzadas con variedades Europeas para producir variedades resistentes a la sequía y al calor, prosperan en suelos arenosos y exhiben resistencia a la niebla del peral (Mitcham & Elkins, 2007)

3.1.2 Origen de la Variedad Williams

La pera Williams fue descubierta originalmente en Inglaterra en 1765 por el señor Stair y fue llamado por primera vez Stair'spear (pera de Stair). Posteriormente, un vi verista llamado Williams la adquirió y diseminó por toda Inglaterra, por lo que esta variedad comenzó a denominarse Williams pear. Por lo general se conoció por todo Inglaterra como Williams, posteriormente se introdujo esta variedad en Argentina fue probablemente el comerciante inglés James Brittain hacia el año 1817, quien la cultivó en su finca a orillas de la desembocadura del riachuelo en Buenos Aires (Manual, 2009).

3.2 Descripción y Morfología del Cultivo de Pera

3.2.1 Botánica del Cultivo de la Pera

Según CIAT (1994), describen al cultivo de la pera como un árbol piramidal, tamaño mediano y vigoroso de 15 a 20 metros de altura, como termino viven de 65 años siendo relativamente fértil.

Su clasificación es la siguiente:

Reino	: Vegetal
División	: Fanerógamas
Clase	: Angiospermas
Orden	: Rosales
Familia	: Rosáceas
Sub familia	: Pomoideas
Género	: <i>Pirus</i>
Especie	: <i>comunis</i>
N. Científico:	<i>Piruscomunis</i>

3.2.2 Descripción de los Arboles

Son árboles caducifolios, generalmente más grandes que el manzano, con una altura entre 5 y 8 m y un diámetro de copa de 0,3 a 0,5 m en la base, con una forma cilíndrica o piramidal bajo condiciones naturales (Jackson *et al.*, 1999).

Como en la mayoría de los árboles, su altura es generalmente influenciada por la fertilidad del suelo, las prácticas culturales como la poda y el patrón (Ahmed, 2008).

3.2.3 Desarrollo de las Hojas

Las hojas se asientan en las ramas en forma alternada. Se presentan pecioladas presentan un arreglo alterno, son simples (de 2 a 12 cm de longitud), de color verde brillante y pueden presentar vellosidad plateada muy densa. La forma de la hoja varía de ovalada a lanceolada, orbicular-ovada a elíptica (Paganova, 2003) y es involuta en la yema (Westwood, 1993).

3.2.4 Desarrollo de las Yemas

Las yemas reproductivas presentan escamas imbricadas (Westwood, 1993), se forman apicalmente en las ramas o en lamburdas (sobre madera de 2 o más años); también, ocasionalmente, como yemas laterales de ramas de 1 año (Jackson y Palmer, 1999).

3.2.5 Desarrollo de las Flores

Las flores se organizan en corimbos, son de color blanco y en algunas ocasiones con tintes rosados o amarillos, epigineas; presentan entre 20 y 30 estambres, de dos a cinco estilos y dos óvulos por lóculo. Brotan a la vez o antes que las hojas, en racimos umbeliformes (Westwood, 1993). Generalmente, las especies de peral tienen flores perfectas en crecimientos viejos, inflorescencia con entre seis y ocho flores en racimos como umbelas. Cada flor presenta de 2 a 4 cm de diámetro y tiene, como el manzano, cinco sépalos, pétalos y pistilos (Garrizet *al.*, 1998). La floración ocurre, normalmente, antes de la del manzano y la mayoría de las drupáceas.

3.2.6 Plagas y Enfermedades del Cultivo de la Pera

Según Coutanceau (1970), indica que se refiere a organismos que afectan directamente o indirectamente al estado sanitario y la productividad de las plantas o calidad de sus cosechas.

Cuadro 1 Enfermedades comunes en el cultivo de la pera y su control

ENFERMEDAD	ETIOLOGÍA	SÍNTOMAS	CONTROL
Moteado	Fusicladium pirinum Venturiapirina	Manchas humosas en hojas y frutos seguidas de necrosis en hojas y suberificación con grietas en los frutos	Se combate desde el invierno hasta el verano con poli sulfuro o sulfuro de potasio u otro fungicida
Pirinosis del peral	Erophyespiri	Pequeñas agallas en las hojas del peral al principio verdes después rojizas y finalmente negras.	
Fuego bacteriano	Erwiria amylovora	Es más severa en el peral. Las bacterias afectan a los ramos y brotes jóvenes a veces a los frutos en casos severos puede causar la muerte del árbol	Se efectúa mediante la poda de brotes afectados en verano cuidando de cortar en tejido sano, por debajo de la zona lesionada y desinfectando las tijeras de podar tras cada corte. Pulverizaciones de estreptomycin o cobre durante o inmediatamente después de la floración.
Podredumbre del Peral	Sclerotinia Fructigena. (Ascomycete) (Discomycete)	En frutos próximos a la madurez se presentan manchas pardas que pudren el fruto en pocos días, la piel se arruga y aparecen círculos concéntricos de eflorescencia.	Recoger los frutos afectados y las ramas que presentan chancros y enterrarlos en una vertedera para que no germinen los apotecios. Benlate 30 a 60 gr/100 lt de agua
Sarna del peral	Venturiapirina Venturiainequalis	Manchas castaño oliváceas de aspecto arborescente que se cubren de una eflorescencia verdosa, tejidos engrosados, amarilla miento y defoliación en hojas y frutos.	Podas Vitagrán azul 100 a 300 gr/ 100 lt agua Elosal, 700 gr/100 lt agua Bayleton 10 a 20 gr/100 lt de agua
Chancro del peral	Nectriagalligena (Ascomycete)	En ramas y frutos la corteza se altera, oscurece, deprime y sea, poniendo al descubrimiento el cilindro central lo que da aspecto de chancro finalmente este queda delimitado por un rodete engrosado en los frutos manchas pardas hundidas y claramente	Cortar las ramas afectadas y desinfección con productos a base de oxiquinoleato de cobre. Oxicloruro de cobre AL 50 % 400 A 500 gr en 100 % lt de agua. Benlate 30 a 60 gr/ha.

		limitadas.	
Mancha blanca de la hoja del peral	Mycosphaerella sentina (Ascomycete)	Numerosas manchas pardas con bordes violáceos y blancos en el centro con puntos negros en las hojas.	Compuestos cúpricos Azufre acoidad 8 % de 500 a 600 gr en 100 lt de agua.

Fuente: Coutanceau (1970).

3.3 Requerimientos Agroecológicos del cultivo

Cuadro 2Requerimiento agroecológico del cultivo de la pera

CULTIVO	Horas frío	Humedad Relativa (%)	Precipitación pluvial (mm)	Temperatura (°C)	Suelo	Ph
Pera <i>(Pirusco munis)</i>	400 a 880	50	600 a 1200	(min.) -4 (opt,) 17 (max.) 25	Franco arcilloso	Medianamente alcalino

Fuente: CIAT (1994)

3.3.1 Horas frío

En frutales de hoja caduca, una defoliación anticipada en el otoño, reduce el tiempo de reposo. Las plantas sensibles a vernalización retrasan la floración si no son expuestas a bajas temperaturas, normalmente 4-8° C.

Estas plantas normalmente germinan al comienzo de la época fría del año y permanecen en estado vegetativo hasta que las temperaturas vuelven a subir. Los mecanismos genéticos que regulan la respuesta a vernalización y el fotoperiodo, hasta hace poco tiempo, se creían inciertos.

Cuadro 3Requerimiento en frío de especies frutales de hoja caduca(n° horas <7,2°C)

Especie	Mínimo	Máximo
Peral	500	1500

3.3.2 Humedad

Las frutas están constituidas fundamentalmente por agua y el mantenimiento de una humedad relativa adecuada durante el almacenamiento es otro de los aspectos claves para mantener la calidad durante la postcosecha. La pérdida de agua o deshidratación, no solamente significa la disminución del peso fresco sino también afecta la apariencia, la textura, el peso fresco del producto y en algunos casos el sabor. La pérdida de crocancia y turgencia están directamente asociadas a la sensación de frescura o de recién cosechadas que son apreciadas por todos los consumidores. (Coutinho, 2003)

La humedad relativa es el parámetro más usado para expresar la cantidad de agua presente en el aire y se define como la relación porcentual entre la presión de vapor del agua real y aquella en el punto de saturación del aire a esa temperatura. Como todos los gases, el vapor de agua se mueve de una zona de mayor a otra de menor presión. En los tejidos vegetales, el agua se encuentra mayormente en forma líquida, formando parte de los jugos celulares pero en equilibrio con los espacios intercelulares en donde se halla en forma gaseosa en concentraciones muy próximas a la saturación (100 por ciento humedades relativas). A menos que ese tejido vegetal esté expuesto a un ambiente saturado y de idéntica temperatura, siempre va existir una diferencia de presiones de vapor que hace que el producto se deshidrate. (Parra. C., 1997.)

3.4 Momentos Fenológicos del cultivo de pera

Aproximadamente 40 días antes de floración comienza el desarrollo fenológico. Los primeros 20 días consisten en fenómenos fisiológicos sin manifestación externa; posteriormente el desarrollo de las yemas se visualiza en función de sus cambios morfológicos y las temperaturas efectivas de crecimiento están por encima de los 7°C. Periodos frescos en esta etapa frenan el desarrollo y crecimiento de las yemas y retrasan el momento de plena floración.

La floración determina el inicio del crecimiento del fruto y condiciona el proceso hasta el momento de cosecha. Este periodo de crecimiento de fruto se ajusta a una curva de tipo sigmoideo y presenta tres fases bien definidas principales

conocidas como: división celular, elongación celular y madurez; en cada una de ellas la temperatura ambiental regula los procesos fisiológicos. Se han registrado importantes aumentos en la tasa de división celular con temperaturas mayores a 12,5 °C (Rodríguez, 2009) (Figura 1-1).

En la fase I de multiplicación celular se alcanza aproximadamente cerca del número total de células que va a tener el fruto, pero con muy poco aumento de tamaño. La duración de este período es de aproximadamente 2 meses para pera (Sozzi, 2007).

La fase II de elongación celular comienza una vez terminada la fase anterior. Consiste en la acumulación de agua y sustancias hidrocarbonadas en las células, originando el aumento de volumen y peso del fruto, hasta alcanzar casi el tamaño normal y característico.

Es fundamental en esta etapa la capacidad fotosintética de la planta (relación hoja/fruto, cantidad de luz interceptada) determinada previamente por prácticas culturales (poda, raleo) y características propias del cultivar. Esta fase puede durar de 30 a 90 días. La última fase, que corresponde al proceso de maduración, suele durar de 10 a 30 días 9 Marco conceptual desencadenando en el fruto una serie de transformaciones bioquímicas que conducen al desarrollo de las características organolépticas específicas del mismo (Kay, 1988; Barceló *et al.*, 1992).

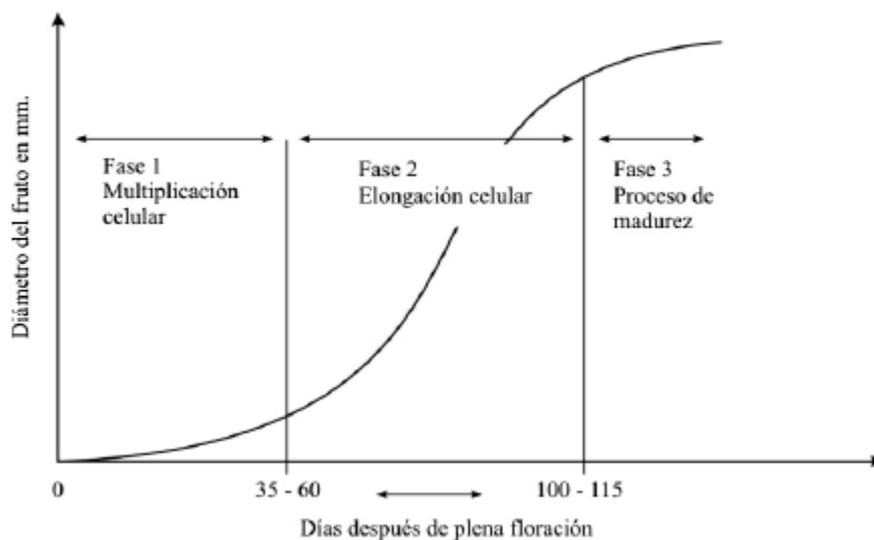


Figura 1 Curva simple sigmoidea de crecimiento de frutos de pepita en función de días después de plena floración, con las tres fases de crecimiento (Gil, 1991).

3.5 Análisis de crecimiento y desarrollo

Las curvas de crecimiento en los vegetales son un reflejo del comportamiento de una planta en el ecosistema particular con respecto al tiempo. El crecimiento se puede referir a un incremento irreversible de materia seca o volumen, cambios en el tamaño, masa, forma o número de estructuras, como una función del genotipo y el ambiente, dando como resultado un aumento cuantitativo del tamaño y peso de la planta o de un órgano (Ardila *et al.*, 2011).

Las curvas de crecimiento del diámetro transversal en función del tiempo son las más empleadas (Casierra y Cardozo, 2007). Tienen la ventaja de ser de fácil determinación, no destructivas y permiten el seguimiento a lo largo del periodo de crecimiento. Las tasas de crecimiento más comúnmente utilizadas para el análisis son la tasa absoluta de crecimiento (TAC) que indica cambio de tamaño por unidad de tiempo y la tasa relativa de 11 Marco conceptual crecimiento (TRC) que indica la variación de tamaño por unidad de tamaño inicial (Hunt, 2003).

3.6 Distribución del Cultivo de Pera en Uruguay

3.6.1 Producción de Pera

El cultivo de pera cv. Williams en Uruguay se desarrollan principalmente en la zona sur del país cerca de las ciudades con mayor concentración de población, donde se realiza en comercio de la fruta en fresco, además existen suelos fértiles.

Estudios de Ministerio de Ganadería, Agropecuaria y Pesca y Dirección de Estación Agropecuaria, (2000), muestran las zonas de concentración de los

productores de fruta de hoja caduca

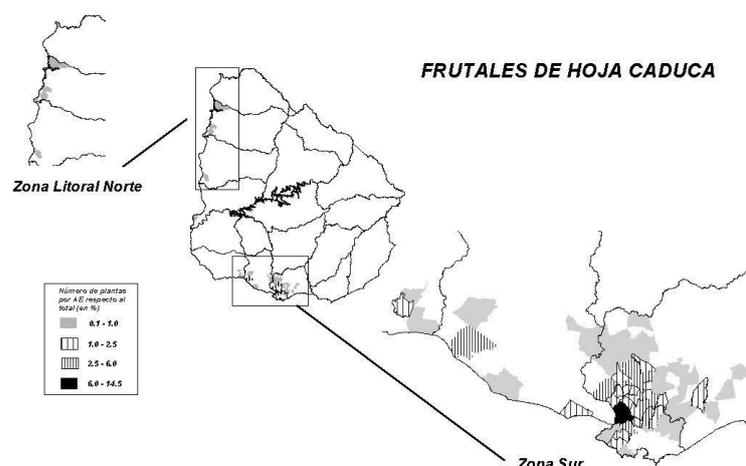


Figura 2. Distribución de frutales de hoja caduca por MGAP Y DIEA, 2000 a nivel del país de Uruguay.

Como se puede ver Uruguay es reconocido en el mercado internacional por la calidad y diversidad de sus frutas frescas.

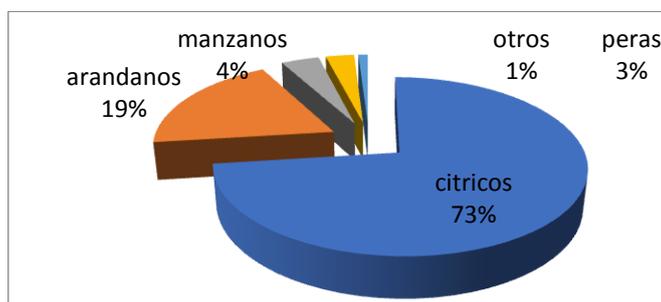


Figura 3. Exportaciones de frutas frescas de Uruguay

Fuente. Censo agropecuario de Ministerio de Ganadería Agropecuaria y Pesca 2013

Según el Ministerio de Ganadería, Agropecuaria y Pesca, (2013) del total de área cultivada por frutales de hoja caduca se determinó una producción de Pera durante las zafas 2008/2013 en la cuales se puede observar el rendimiento de fruta (ver gráfico 2).

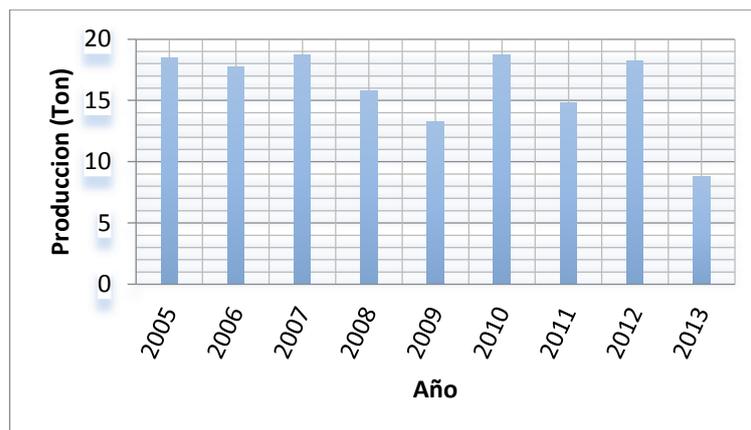


Figura 4. Producción total de Pera.

Fuente. Censo agropecuario de Ministerio de Ganadería Agropecuaria y Pesca 2013

3.6.2 Análisis de Crecimiento

El diámetro del fruto es, un indicador del momento de aplicación del riego (Braun *et al.*, 1989). Aplicando el riego cuando el crecimiento del fruto disminuye o se detiene, se consigue que el tamaño del árbol y la tasa de crecimiento del fruto sea menor, de tal forma que, en la etapa de crecimiento rápido, luego de aplicar el riego, los frutos se recuperan sin afectar la producción, que resulta igual a la de árboles bien regados durante todo el crecimiento (Vélez *et al.*, 2007; Vélez y Álvarez, 2012).

El principal obstáculo para utilizar el crecimiento del fruto como indicador en la programación del riego, es la alta variabilidad entre frutos, ya que el crecimiento no es uniforme a lo largo de la temporada pues depende de muchos factores (temperatura, humedad relativa y radiación) y las curvas normales pueden desviarse de forma importante entre años. También la no existencia de frutos de forma permanente dificulta su uso como parámetro para programar el riego (Vélez *et al.*, 2007).

3.7 Riego en Frutales

3.7.1 Riego

Chipana (2003), indica que el riego es una tentativa del hombre de alternar el ciclo hidrológico a nivel local y promover el incremento de la producción agrícola. En otras palabras, el riego es el suministro oportuno de la cantidad de agua a los

cultivos de tal manera que estos no sufran disminución en sus rendimientos y sin causar daño al medio ambiente. La práctica del riego combina elementos de la ciencia del suelo, agronomía, ciencias sociales, hidráulica, hidrología y economía.

3.7.2 Riego Deficitario

La necesidad del uso de agua en la agricultura y la búsqueda de sistemas más eficientes de gestión agronómica de los cultivos han sido elementos básicos en el desarrollo de lo que denominamos riego deficitario controlado (RDC). El cambio de paradigma que supusieron los trabajos de (Chalmers *et al.* 1981 y Mitchell *et al.*, 1984), en los que se concluía que con menos riego se podía obtener más producción de melocotones y peras.

El riego deficitario es una herramienta para el manejo de los cultivos que se fundamenta en la estrategia de reducir el agua aplicada con el mínimo impacto sobre la producción. (Hargreaves y Samani 1987) señalan que los riegos deficitarios pueden proporcionar retornos económicos por unidad de superficie, iguales o superiores que los riegos para máximas producciones, lo que evidentemente indica eficiencias de uso del agua también iguales o superiores.

Existe abundante información sobre la respuesta de distintos cultivos al riego deficitario, si bien con el denominador común de que el déficit de agua reduce los rendimientos mencionado por (Fabeiro y Lopez, 2002).

Renaul (2003), indica que uno de los métodos usados en el campo para aumentar la productividad del agua es el riego deficitario en el cual se aplica deliberadamente menos agua que la necesaria para satisfacer totalmente la demanda de agua de los cultivos. El riego deficitario debería resultar en una pequeña reducción del rendimiento que es menor que la respectiva reducción de transpiración, esto causa por lo tanto, una ganancia de la productividad de agua por unidad de agua transpirada. Además, podría reducir los costos de producción si fuera posible eliminar uno o más riegos. Para que el riego deficitario tenga éxito los agricultores necesitan conocer el déficit que se puede permitir en cada una de las etapas de crecimiento, el nivel de estrés de agua que existe en la zona radical y sobre todo tener un buen control del tiempo y cantidad de aplicación.

Los riegos deficitarios con alta frecuencia consisten en regar todo el ciclo por debajo de la demanda del cultivo pero utilizando una frecuencia de aportes suficientemente alta como para evitar la aparición de situaciones de estrés trascendentes. Según Fereres *et al.* (1978) concluye que estas estrategias deben restringirse a cultivos que sombreen completamente el suelo, manteniendo un nivel mínimo de agua, y se deben utilizar sistemas de riego de alta eficiencia, como el riego localizado. Otros autores como Goldhamer (1989), indican que otros métodos de riego también pueden resultar adecuados. Como, por ejemplo, el riego por surcos, con aplicaciones frecuentes a bajas dosis, humedeciendo parcialmente el sistema radicular y alternando las aplicaciones en los surcos a ambos lados de las plantas.

El riego deficitario de alta frecuencia constituye una clara alternativa, pero no es menos cierto que presenta lagunas importantes, como no considerar que el déficit pueda resultar más o menos trascendente en función del momento fenológico. Por esta razón en los últimos años ha adquirido especial relevancia el enfoque biológico, prestando mayor importancia tanto a la fenología del cultivo como a su capacidad para resistir situaciones de déficit hídrico. De esta manera, surge lo que ha venido en llamarse riego deficitario controlado (RDC). Según (Mitchel *et al.*, 1984), basado en la idea de reducir los aportes de agua en aquellos periodos fenológicos en los que un déficit hídrico controlado no afecta sensiblemente a la producción y calidad de la cosecha y, cubrir plenamente la demanda durante el resto del ciclo del cultivo.

3.7.3 Lamina de riego

3.7.3.1 Calculo de lámina de riego

Según Jara y Valenzuela (1998), existen varias aproximaciones para determinar los requerimientos hídricos de cultivos regados por métodos de riego más eficientes como goteo o cinta.

El suministro de agua al cultivo debe incluir adicionalmente a las necesidades netas de la planta, todo el agua que se pierde por escorrentía, evaporación, arrastre del viento, entre otros. La lámina bruta se define entonces como la lámina

neta afectada por la eficiencia de riego y se expresa mediante la siguiente ecuación (Castro, 2009)

3.7.4 Riego en Frutales

En el área mediterránea el agua es, sin lugar a dudas, el factor más limitante de la producción de frutas. En el caso de los frutales, el agua no solo debe asegurar la obtención de producciones rentables año que debe contribuir a mantener arboles capaces de producir en años subsiguientes (Ruiz- Sánchez y Girona, 1995).

En frutales caducifolios es necesario tener agua disponible pero no en exceso, ya que los frutos tienden a ser más frágiles con relación al contenido de agua. Para inducir la floración es recomendable mantener los arboles con suficiente agua y nitrógeno durante la fase de crecimiento activo (Ávila *et al.*, 2013).

Desde los primeros estudios de riego en frutales de hoja caduca diversos autores coincidieron en adjudicar los beneficios de riego en frutales para determinar el incremento de rendimientos

Bajas láminas de riego en pera pueden reducir el rendimiento y el tamaño de los frutos. Hay muchas formas de determinar un calendario de riego y muchos cultivadores utilizan combinaciones de técnicas de programación de riego para lograr los resultados que desean. Los métodos de programación de riego tienen en cuenta: el clima, el suelo y la planta. La mayoría de la investigación moderna de riego se ha basado en el supuesto de que la producción de fruta será maximizada si el agua utilizada por árbol se suministra totalmente por el riego de manera regular (Mitcham, E y Elkins R., 2007).

La utilización de sistemas de riego en frutales, con aplicaciones de dosis aproximadas a las requeridas, conlleva una mayor eficiencia en la utilización del agua y los fertilizantes por las plantas (Vélez y Álvarez, 2012).

3.7.4.1 Déficit Hídrico de la Pera

El desarrollo vegetativo, es muy sensible al déficit hídrico, la disminución de la superficie foliar, como consecuencia de un menor crecimiento, es un mecanismo

adoptado por la planta para reducir la pérdida de agua por transpiración (El-Sharkawi y Cock, 1987; Tudela y Primo-Millo, 1992).

Olalla, S y Valero, J (1993) indican que el déficit hídrico no solo reduce la actividad meristemática efecto negativo sobre la absorción de agua y nutrientes minerales. La capacidad de la planta para satisfacer la demanda evaporativa depende de: el tipo de suelo explorado por las raíces, distribución y la densidad del sistema radical, la resistencia al flujo de agua en el sistema radical y al movimiento en el sistema aéreo, el contenido y distribución de humedad en el suelo, las propiedades del suelo, la localización geográfica y las condiciones del clima.

Se considera que el crecimiento y la productividad de los cultivos es proporcional al uso eficiente del agua y un déficit hídrico severo reduce normalmente la producción final, por el contrario, en algunos casos un estrés hídrico moderado puede llegar a mejorar la calidad de los productos (Vélez *et al.*, 2007).

La restricción de agua reduce el crecimiento del tronco. En árboles jóvenes, en melocotonero, cambios estacionales inducen importantes variaciones sobre los valores de la máxima contracción diaria del tronco (MCD) (Marsalet *et al.*, 2002). Un déficit hídrico en árboles adultos de pera, durante la etapa de división celular, que corresponde al periodo de crecimiento vegetativo, puede restringir el crecimiento de los tallos sin mostrar diferencia en el tamaño de la fruta (Yang Wu *et al.*, 2013).

3.7.4.2 Estrés Hídrico en Frutales

Uno de los efectos del estrés hídrico es por el aumento de temperatura, debido al cierre de estomas que provoca una disminución en la transpiración de la planta. Las plantas transportan agua desde el suelo hasta la atmósfera siguiendo un gradiente de potencial hídrico. Los flujos de agua desde el suelo atraviesan el sistema radical y son transportados mediante los vasos conductores de la xilema hasta las hojas, donde se evapora a través de las estomas, siguiendo el gradiente de presión de vapor, y pasa a formar parte del vapor de agua de la atmósfera. Un desfase en el proceso de transporte de agua desde el suelo hasta la atmósfera provoca un déficit hídrico en la planta, que puede afectar negativamente al rendimiento. El estado hídrico de la planta se expresa en términos energéticos

mediante el potencial hídrico. Por lo que se puede decir que El potencial hídrico en la hoja es función del potencial del agua en el suelo (Ψ_s), de las resistencias al flujo de agua entre el suelo y la hoja.

La hoja debe bajar su potencial hídrico para que el agua se mueva hacia ella, por lo que siempre que haya transpiración habrá un déficit hídrico en la hoja. Sin embargo, se considera que una planta sufre de estrés o déficit hídrico cuando el potencial del agua en sus tejidos decrece tanto como para afectar negativamente el proceso fisiológico. Las causas que puedan conducir a un bajo potencial hídrico en la hoja y tanto a un estrés hídrico son las siguientes:

- Bajo potencial hídrico del suelo (bajo contenido de agua y/o elevado contenido en sales en la solución del suelo).
- Alta demanda evaporativa (elevada transpiración).
- Alta resistencia al flujo del agua, en el suelo radical, enfermedad vascular (Villalobos et al., 2002).

3.8 Necesidades Hídricas de los Cultivos

Las necesidades hídricas para los cultivos es un paso previo para establecer los volúmenes de agua que será necesario aportar con el riego.

Según, Allen et al, (1998) definen la evaporación de un cultivo, como “la pérdida total de agua de una cubierta vegetal bajo forma de vapor a través de la evaporación y transpiración durante un intervalo de tiempo dado”.

La evapotranspiración es la combinación de dos procesos (evaporación y transpiración) mediante los cuales, se produce el cambio de estado del agua, de líquido a vapor (Figura 4).

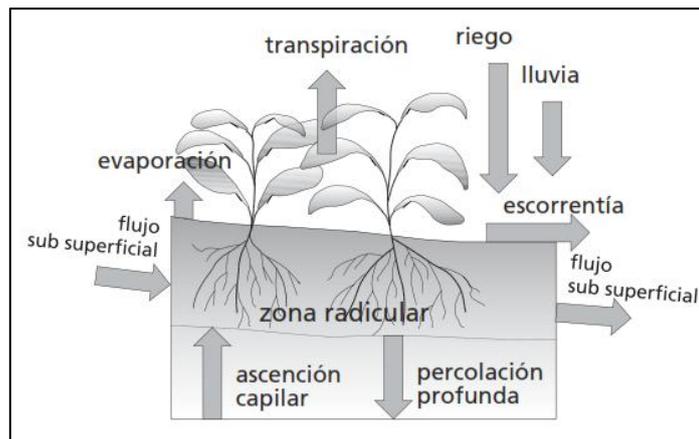


Figura 5. Los procesos de evaporación y transpiración

Fuente. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos 2006.

FAO 56 (2006), menciona que el clima, las características del cultivo, el manejo y el medio de desarrollo son factores que afectan la evaporación y la transpiración. Los conceptos relacionados a la ET y presentados en la Figura 3 se describen en la sección sobre conceptos de evapotranspiración.

3.8.1 Variables Climáticas

FAO 56 (2006), indica que los principales parámetros climáticos que afectan la evapotranspiración son la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento. Se han desarrollado varios procedimientos para determinar la evaporación a partir de estos parámetros. La fuerza evaporativa de la atmósfera puede ser expresada por la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o). La evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) representa la pérdida de agua de una superficie cultivada estándar.

3.8.2 Evapotranspiración

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo (FAO, 2006). La ET_c, corresponde a la evaporación directa de la superficie del suelo (E), más la transpirada por la planta.

El conocimiento de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante el ciclo fenológico es importante para la programación del riego. Se estima en la mayoría de los casos en función de las condiciones ambientales.

La mayor parte del agua consumida por la planta se evapora directamente a la atmósfera a través de los estomas de las hojas y tallos verdes en el proceso de transpiración (Arevalo *et al.*, 2013). En día de verano con una radiación típica de 320 a 380 cal cm⁻², la máxima evaporación diaria será aproximadamente de 6 mm (Vélez *et al.*, 2007a).

Entre los métodos indirectos más utilizados para calcular y estimar la ETc se encuentran los estudios de la FAO N° 24 Requerimiento de los cultivos (Doorembos y Puit, 1975) y N° 56 Evapotranspiración de cultivos (Allen *et al.*, 1998).

En estos métodos la ETo se puede calcular utilizando datos meteorológicos llamado el método de FAO Penman-Monteith, que requiere de información de radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento (FAO, 2006).

En los métodos directos se encuentra el balance de agua, donde la ETc se calcula directamente realizando un balance de entradas y salidas de agua en un volumen de suelo y un tiempo determinado; el lisímetro de pesada, considerado como un método más preciso y directo para la medición de ETc de un cultivo, basado en la ecuación de balance hídrico, que permite calcular el coeficiente de cultivo Kc mediante la relación ETc/ETo y por último los métodos térmicos, en los que se mide el flujo de la savia y el transporte de calor, usando el calor como trazador y aprovechando la capacidad calorífica de la savia en comparación al aire y la madera húmeda (Cohen *et al.*, 1996).

3.8.2.1 Evapotranspiración del Cultivo ETc

La ETc se refiere a la evapotranspiración de un cultivo que se desarrolla libre de enfermedades, con buena fertilización, que crece en un campo extenso bajo condiciones óptimas de humedad en el suelo y el cual alcanza su producción total bajo ciertas condiciones climáticas. Este cultivo difiere en gran medida del cultivo

de referencia en las características de cobertura de suelo, propiedades de la vegetación y resistencia aerodinámica (FAO, 2006).

3.8.2.2 Evapotranspiración del Cultivo de Referencia ETo

La FAO la define como la evapotranspiración del cultivo de referencia o evapotranspiración de referencia y es simbolizada como ETo; la superficie de referencia es un cultivo hipotético de pasto, con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial fija de 70 s/m y un albedo de 0,23m. La superficie de referencia es muy similar a una superficie extensa de pasto verde, bien regada, de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo. La resistencia superficial fija de 70 s/m implica un suelo moderadamente seco que recibe riego con una frecuencia semanal aproximadamente (FAO, 2006). En todos los casos se desarrollan modelos de expresiones matemáticas de una evapotranspiración que difiere de la evapotranspiración real (ETR) que ocurre en una región; estas diferencias se deben, sobre todo, a la disponibilidad de agua en las superficies.

El concepto de una superficie de referencia se introdujo con el fin de obviar la necesidad de definir los parámetros únicos de evaporación para cada cultivo y etapa de crecimiento. Anteriormente una superficie libre de agua fue propuesta como superficie de referencia, sin embargo, las diferencias aerodinámicas, el control de la vegetación y las características de la radiación presentan una fuerte limitación al relacionar la ET con la medición de la evaporación libre del agua.

En cambio el relacionar ETo con un cultivo específico tiene la ventaja de incorporar los procesos biológicos y físicos implicados en la ET de superficies cultivadas. El cultivo de referencia es hipotético debido a que la utilización de un cultivo real implica la realización de costosos estudios de calibración para la zona en la que se quiera determinar la evapotranspiración de referencia, por las condiciones del cultivo que crean una resistencia a la difusión del vapor como son la altura del dosel, la cobertura del suelo, el índice de área foliar y las condiciones de humedad del suelo (FAO, 2006).

3.8.2.3 Coeficiente de Cultivo kc

El consumo de agua o evapotranspiración que ocurre en una superficie cultivada puede ser estimada a partir de datos meteorológicos (temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad de viento) empleando el modelo de Penman-Monteith sugerido por la Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura (FAO 2006).

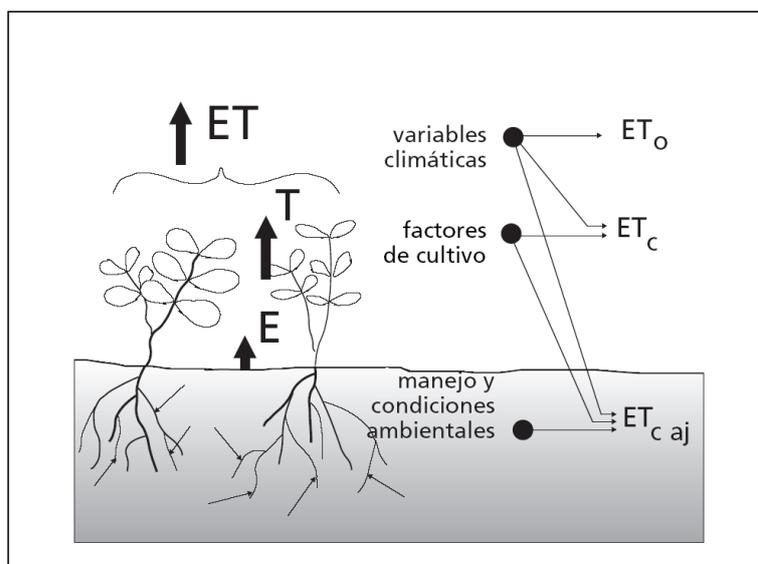


Figura 6. Factores que afectan la evapotranspiración con referencia a conceptos relacionados de ET_o .

Fuente. FAO 56 (2006).

De acuerdo al enfoque del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo ET_c se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, ET_o y el coeficiente del cultivo K_c :

$$ET_c = K_c ET_o \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde

ET_c =evapotranspiración del cultivo [mm d-1],

K_c =coeficiente del cultivo [a dimensional],

ET_o =evapotranspiración del cultivo de referencia [mm d-1].

La mayoría de los efectos de los diferentes factores meteorológicos se encuentran incorporados en la estimación de ET_o . Por lo tanto, mientras ET_o representa un

indicador de la demanda climática, el valor de K_c varía principalmente en función de las características particulares del cultivo, variando solo en una pequeña proporción en función del clima. Esto permite la transferencia de valores estándar del coeficiente del cultivo entre distintas áreas geográficas y climas. Este hecho constituye la razón principal de la aceptación general y utilidad de la metodología del coeficiente del cultivo, así como de los valores de K_c desarrollados en estudios anteriores.

3.8.3 Relación de la Radiación

La luz es un aspecto importante en los árboles frutales, dado el papel que cumple en la fotosíntesis, en el desarrollo morfológico de las hojas y brotes, en la iniciación floral y cuaje de fruta y en el desarrollo y calidad de la fruta (Rom, 1991).

Sin una adecuada iluminación, todos estos procesos son afectados significativamente y el árbol no puede cumplir su objetivo de producción. Así, la interceptación de luz y la fotosíntesis de la copa son factores importantes que limitan la productividad total del huerto, y así también lo es la poda de formación y producción, que es el único proceso manejable que influye en el potencial productivo de los árboles frutales (Wünsche *et al.*, 1996).

Según Rom (1991), la luz interceptada es la cantidad de luz disponible por el follaje del árbol y que no golpea el piso del huerto; entonces, la interceptación es una función de la densidad de la plantación, del tamaño y forma de la copa y del índice del área foliar dentro de ésta.

Robinson y Lakso (1991) establecen que en los huertos donde existen copas discontinuas, son las características de la copa, tales como, altura, ancho, forma y densidad de las hojas las que controlan la interceptación total de la luz, la productividad de la materia seca y, así, el rendimiento potencial.

La capacidad fotosintética de la hoja depende de varios factores y es característica de las especies y, en menor medida, de las variedades. La variación en fijación de CO_2 que ocurre en la naturaleza, en $\mu\text{ moles} / \text{m}^2 / \text{s}$, es de 5 a 18 en árboles frutales.

La fotosíntesis neta total depende de la energía radiante total recibida por las hojas activas en un ciclo biológico (Gil, 2000).

3.8.3.1 La radiación fotosintéticamente activa

Está comprendida entre las longitudes de onda 400 y 700 nm y solamente es un 45-50% del total recibido por la planta, esto es, 400 o 500 W / m² en un día claro sin nubes (Rivas, 2001).

En un día claro varía dependiendo del lugar de 1800 a 2500 micromoles de fotones por segundo por metro cuadrado. En un día nublado baja a 800 a 1000 $\mu\text{moles/seg} / \text{m}^2$.

Para fines de productividad interesa el total del día y de la temporada que llega a las plantas (Gil, 2000). La fotosíntesis neta de una hoja según la intensidad de luz puede graficarse como una hipérbola de magnitud característica de la especie. Si el nivel de luz es muy bajo la hoja producirá menos materia que la que ella misma necesita y es una hoja parásita. Un mayor nivel de flujo de fotones, generalmente 20 – 30 $\mu\text{moles} / \text{m}^2 / \text{s}$, o 1% de la luz fotosintéticamente activa, entre 10-20 en subtropicales como el palto, la hoja se encuentra en equilibrio productivo, la tasa de fotosíntesis es igual a la de respiración, lo que se conoce como el punto de compensación.

Mientras mayor es la intensidad de luz, mayor es la fotosíntesis neta hasta un punto de saturación, para fines prácticos se toma como punto de saturación un 90% de la fotosíntesis máxima. La luz que excede la saturación hace caer la tasa de fotosíntesis o sea foto inhibición (Gil, 2000).

Entre las especies y variedades hay diferencias en esas características. La saturación ocurre con un flujo de fotones entre 400 a 700 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s}$, equivalente a entre 20 y 50% de la luz total (Gil, 2000). Para Ferre (1980), la radiación fotosintéticamente activa (PAR) captada por un vegetal determina directamente la producción de fotosintatos, influyendo sobre el crecimiento, la productividad y calidad de fruta de las plantas

En un cultivo referente como la manzano, en las zonas sombreadas del árbol donde penetra menos de un 30% de la luz solar, prácticamente no se forman yemas de flor (Agusti, 2004).

3.8.4 Contenido Hídrico del Suelo

El método gravimétrico, es un método directo y habitualmente de referencia para determinar el contenido de humedad en el suelo. Existen métodos indirectos como. La dispersión y atenuación de neutrones, la conducción térmica, que usan generalmente en investigaciones y permiten medidas rápidas y periódicas. También se usan los métodos de los sensores de humedad que se trabaja para determinar la humedad del suelo, es un método directo ya que se puede verificar directamente la humedad del suelo.

3.8.5 Disponibilidad de Agua en el Suelo

El contenido y retención de agua por un suelo no tiene un carácter homogéneo, sino resulta de la interacción de distintas fuerzas y componentes. El factor ambiental más importante en determinar la distribución de la vegetación sobre la superficie terrestre es la disponibilidad de agua. Las regiones con precipitaciones pluviales abundantes y bien distribuidas tienen vegetación lujuriosa donde existen períodos de sequía frecuentes en verano, la vegetación es de pastos y en las zonas semiáridas o áridas la vegetación es muy rala de plantas adaptadas (xerofíticas) a no existe (Kramer, 1969).

Del total de agua que se consume por un cultivo, aproximadamente el 98% pasa a través de la planta a la atmosfera por el proceso de transpiración. Se requiere este flujo de agua para el desarrollo de la planta (mantenimiento de la temperatura), y por lo tanto, su tasa debe mantener dentro de los límites óptimos para cada cultivo (Reichardt, 1978)

4 LOCALIZACIÓN

4.1 Ubicación Geográfica

La investigación se realizó en los predios privados de monte del Sr. Richard García, donde desarrollaba la producción del cultivo de pera, en el Departamento Canelones, comunidad Juanico en el Vecino País de Uruguay.

La parcela experimental se encuentra ubicada a 34°32'S Latitud y 56°37'W Longitud una temperatura media de 16°C a 44.8 kilómetros de Monte Video. Se encuentra ubicado en la zona meridional del país, rodeando al departamento de Monte video, y limita al oeste con San José, al norte con Florida y al este con Lavalleja y Maldonado. En la parte oeste y norte el límite con los demás departamentos lo forma el rio Santa Lucia, y en la parte este lo forman la Cuchilla Grande y el Arroyo Solís Grande.

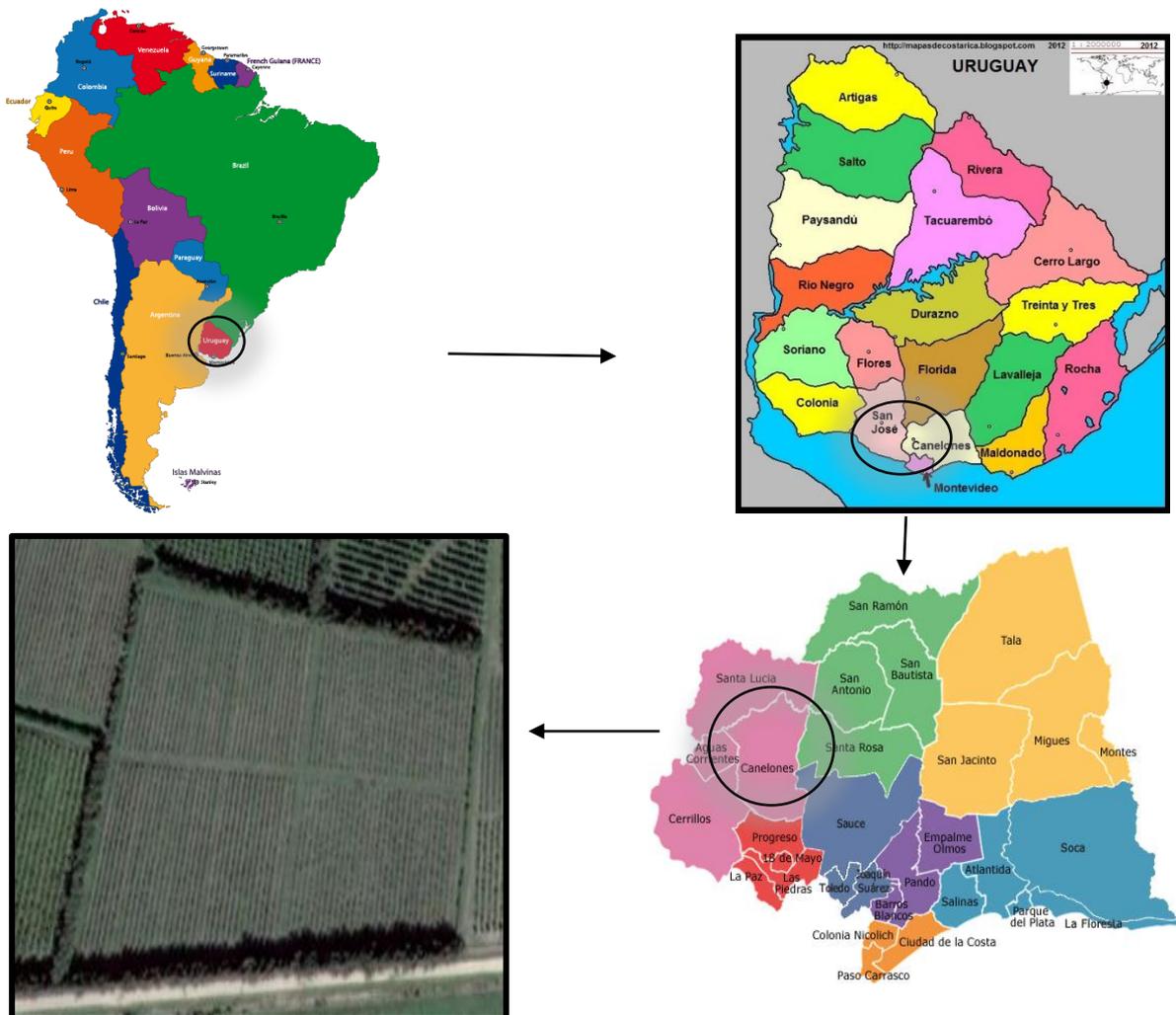


Figura 7 Ubicación geográfica del área de investigación en el departamento Canelones, Juanico, Uruguay.

4.2 Características Geográficas

4.2.1 Análisis Geográfico de Uruguay

El territorio continental del Uruguay se encuentra comprendido en la zona templada. La ausencia de sistemas orográficos importantes contribuye a que las variaciones espaciales de temperatura, precipitación y otros parámetros sean pequeñas. El anticiclón semipermanente del Atlántico influye sobre el desarrollo del tiempo en Uruguay, la circulación horizontal que origina establece que la dirección predominante del viento. El anticiclón del Pacífico provoca los empujes de aire de origen polar. Estas masas de aire pueden ser de trayectoria marítima en cuyo caso transportan abundante humedad en sus capas más bajas, o de trayectoria continental las cuales tienen un contenido hídrico menor.

4.2.2 Análisis de Suelos de Uruguay

En el Grupo I predominan suelos superficiales asociados en variables proporciones con suelos profundos de diferentes características, los cuales determinan en gran medida el potencial de las áreas. En este grupo hay dos zonas: una con litosoles y vertisolespelicós, desarrollados sobre rocas basálticas; esta área ocupa 21,2 por ciento del país. Los suelos superficiales tienen baja capacidad para conservar agua, alto riesgo de sequía, áreas con piedras y alta fijación de fósforo. El relieve es plano a suavemente ondulado.

En el Grupo II predominan suelos profundos, de textura media, drenaje pobre y fertilidad baja a media. Este grupo tiene una zona única con planosoles eútricos, de textura media, asociados con solonetzórticos; ocupa el 5 por ciento del área del país y es una larga planicie con muy baja pendiente. Son suelos con materia orgánica y fertilidad bajas y humedad alta.

El Grupo III incluye suelos profundos, de textura media, con permeabilidad baja y fertilidad media a baja. En general, las rocas ígneas, ácidas y sedimentarias de granulometría media con bajo nivel de calcáreo, tienden a desarrollar bajo condiciones climáticas corrientes, con topografía ondulada a suavemente

ondulada, suelos de textura media con subsuelo pesado y fuertemente estructurado, con periodos de saturación de humedad y periodos en los cuales se ponen muy duros cuando están secos.

Los suelos del Grupo IV son profundos, de textura fina y fertilidad baja. Materiales sedimentarios de textura gruesa con bajo nivel de calcáreo tienden a desarrollar en el Uruguay, suelos de textura liviana con horizonte superficial generalmente profundo y con subsuelo pesado, con colores oscilando desde rojo oscuro a gris oscuro, pasando por amarillos y rojos oscuros claros. Son los suelos más lixiviados del país.

El Grupo V abarca los suelos de mayor potencial del país. Estos suelos son profundos, de textura pesada con permeabilidad lenta a moderada y fertilidad alta a media. En las condiciones climáticas corrientes, las rocas ígneas básicas y las sedimentarias de textura fina, tienden a formar suelos negros, de textura pesada, con permeabilidad lenta a muy lenta. Los sedimentos son de textura media a fina, con buen nivel de carbonatos, y en general generan suelos de textura media a pesada, con subsuelos pesados y drenaje moderadamente bueno. (Clasificación de suelos y nomenclatura de FAO-UNESCO, 1971).

El Uruguay, con: una extensión reducida, sin accidentes geográficos importantes, un clima muy similar en todo su territorio y una vegetación casi exclusivamente herbácea, no debería presentar gran variabilidad en cuanto a los tipos de suelos en las diferentes regiones del país. Sin embargo, la diversidad de litologías en los materiales geológicos generadores de los suelos junto con la topografía local y las diferentes clases de drenaje explica la heterogeneidad de suelos en las distintas zonas del país.

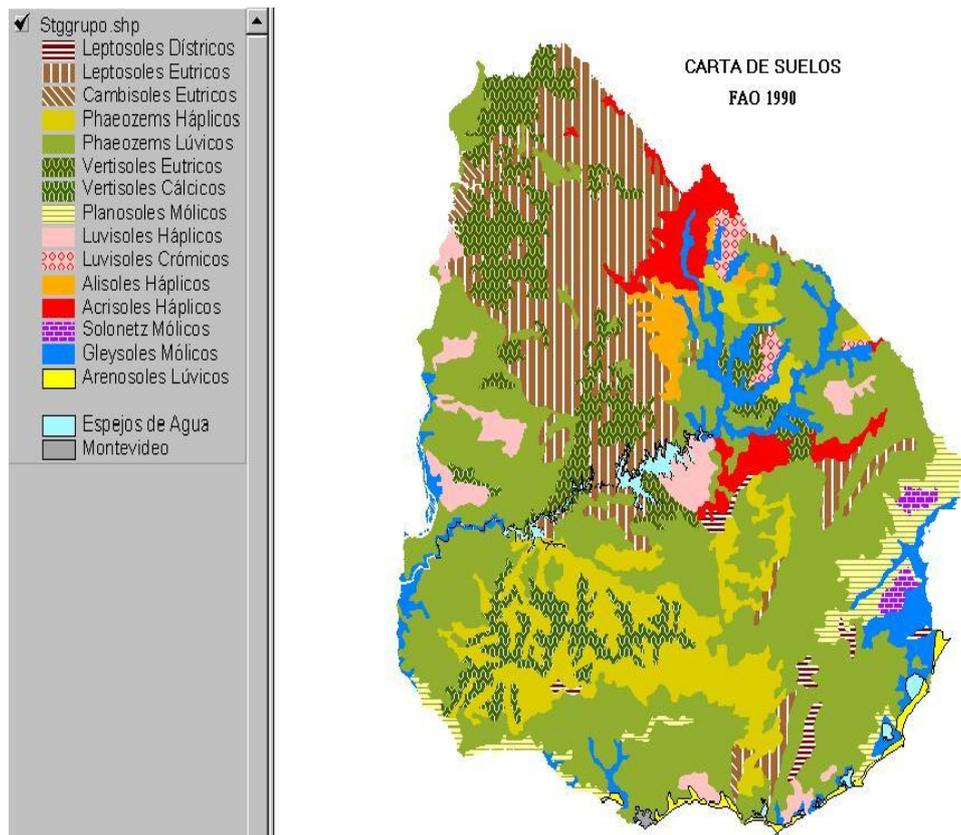


Figura 8 Mapa generalizado de los suelos dominantes de Uruguay.

Se señalan a continuación, los rasgos comunes más relevantes del conjunto de suelos del Uruguay. Entre los rasgos más significativos sobresale el color oscuro en casi todo el solum (pardo muy oscuro, negro y pardo grisáceo muy oscuro). Las excepciones más importantes a estos colores la constituyen: 1) un cierto número de suelos derivados de materiales generadores arenosos, donde respectivamente son pardo a pardo rojizo y rojo en los horizontes A y B y 2) otros suelos desarrollados sobre formaciones superficiales, en la zona serrana de sustrato rocoso metamórfico donde los colores son rojo amarillentos, a veces con moteados.

Otro rasgo importante, muy relacionado con el anterior, es el alto contenido de materia orgánica. La excepción en este caso la constituyen los suelos de texturas arenosas. La predominancia de suelos con horizontes superficiales oscuros, ricos en materia orgánica y bien estructurada en condiciones naturales, cumpliendo los requisitos del horizonte mólico, es entonces una característica de los suelos del Uruguay que da lugar a un área importante de Phaeozems. Otra característica es

la presencia generalizada de horizontes subsuperficiales arcillosos, de carácter iluvial, a escasa profundidad. Esta característica morfológica casi siempre presente, da origen a suelos con un horizonte Bargílico, con alto contenido de arcilla y poco permeable (Phaeozemslúvicos principalmente). Es frecuente la presencia de suelos con alto contenido de arcilla expansible desde la superficie, dando lugar a Vertisoles.

4.2.3 Temperatura Máxima y Mínima Datos Históricos 2001-2014

Según INIA Las Brujas las temperaturas promedio de máximas y mínimas registradas por la estación meteorológica de los años 2005/2014, mostraron el incremento de temperaturas para determinar el ciclo de producción de los cultivos de hoja caduca. Los datos fueron tomados de 10 años atrás para determinar la evolución de las temperaturas máximas y mínimas, tomando en cuenta el ciclo de la investigación se puede observar que en promedio las temperaturas máximas llegan a 22.1°C y la mínima alcanza hasta 11.6°C. Datos meteorológicos según (<http://www.inia.org.uy/gras>).

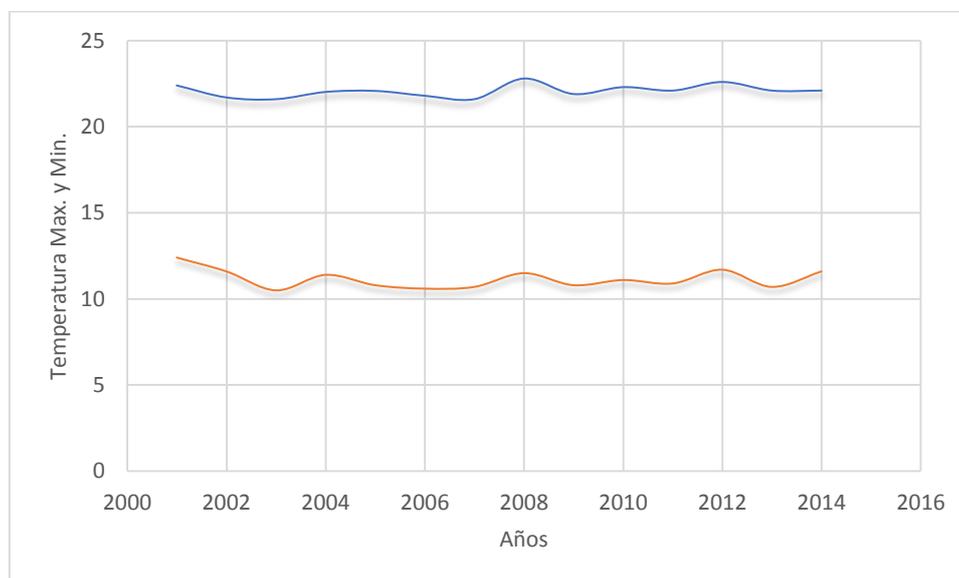


Figura 9. Análisis de temperatura máxima y mínima en el departamento de Canelones, en la estación INIA LB con datos anuales de 2001 a 2014.

Como se podrá observar la tabla muestra los meses de estudio para el trabajo de los cuales se podrá observar que los meses que alcanzaron mayor temperatura fueron de diciembre hasta febrero que alcanzo un promedio de 28°C, también se

podrá observar mediante el grafico algunos parámetros a tomar en cuenta durante la zafra 2014/2015.

4.2.4 Precipitaciones Pluviales Datos Históricos Desde 2001 a 2014

Los datos históricos que se muestra en la figura son para determinar las precipitaciones anuales de diez años atrás y así poder analizar los cambios que existe y la acumulación de precipitación que se registraron en los últimos años en el país de Uruguay.

Según datos proporcionados por INIA Las Brujas (2014), se puede observar las precipitaciones anuales de las cuales se podrá destacar el cambio climático que existe en Uruguay, en la figura se pudo observar que el año menos lluvioso fue el año 2006 con una precipitación anual de 518 mm pero si bien podemos observar el año 2014 fue un año con mayor precipitación que alcanzo a 1424.4mm.

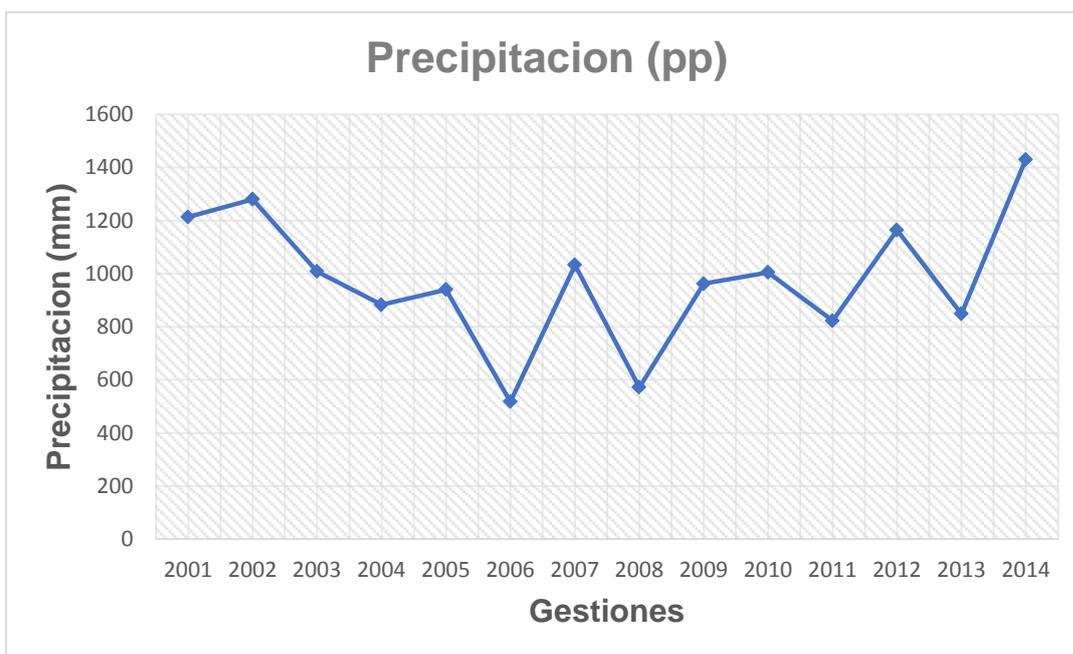


Figura 10. Análisis de precipitaciones en el departamento de Canelones, en la estación INIA LB con datos anuales 2001 a 2014.

Verificando los datos meteorológicos durante el ciclo de estudio desde octubre hasta marzo se pudo observar que el mes con mayor precipitación fue en noviembre que alcanzo a 186.9mm y el mes con menor precipitación fue en

febrero que alcanzo a 27.3mm con un total de precipitación de 527.6mm durante el tiempo de estudio

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materiales

5.1.1 Material Biológico

El ensayo se instaló en un monte de Pera (*Pyrus comunnis*), variedad Williams sobre pie de injerto membrillo Adams con filtro Beurre Hardy, el cultivo tiene 3 años de edad con un marco de plantación de 1×1 entre plantas y 1×5 entre filas, que se realizó en predios del señor Richard.

5.1.2 Material de Gabinete

- Material de escritorio
- Computadora
- Programa Software, The SAS System para Windows versión 6.11 y 9, 1.
- Calculadora

5.1.3 Herramienta Utilizada en Campo

- Pala
- Estaca
- Cinta métrica
- Letreros
- Cuaderno de apuntes
- Cuerda plástica
- Flexometro
- Cámara fotográfica
- Bolsas plásticas
- Contadores
- Calibrador manual
- Refractómetro
- Penetrometro

5.1.4 Equipo Utilizados

- Programa digital ECH20 Utility
- Sensores de humedad (FDR, Decagon 10HS)
- Cámara de presión(Scholander)
- Ceptometro (Decagom Devices Inc)

5.2 Metodología

5.2.1 Método Descriptivo

El método utilizado en el ensayo fue descriptivo, estadístico y analítico y generalizar los resultados de las observaciones.

5.2.2 Diseño Experimental

El diseño que se utilizó para este trabajo de investigación fue: Diseño Experimental completamente al azar, con cinco repeticiones que tomaremos en cuenta los tres tratamientos.

5.2.2.1 Modelo Aditivo Lineal

El modelo aditivo para este trabajo es el siguiente:

Modelo Aditivo Lineal:

$$X_{ij} = \mu + \alpha_j + \epsilon_{ij} \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:

X_{ij} = Observación cualquiera

μ = Media general del experimento

α_j = Efecto de la j-ésimo tratamiento

ϵ_{ij} = Error experimental

Fuente : Calzada (1982)

5.2.3 Factores de Estudio

El factor estudiado en la presente investigación fue la aplicación de láminas de riego a diferentes etapas, se detallan a continuación:

Tratamiento Testigo (T0) = sin aplicación de Riego fin de lluvias durante la zafra agrícola

Tratamiento uno (T1) = Riego después de los 50 días de la floración.

Tratamiento dos (T2) = Riego después de los 65 días de plena floración.

5.2.4 Dimensiones de la Parcela

5.2.4.1 Descripción de Tratamientos

Los tratamientos fueron establecidos de la siguiente manera: se contó con cinco repeticiones y tres tratamientos para empezar con el trabajo de investigación.

5.2.4.2 Características de la Parcela

El ensayo se estableció en el departamento de Canelones en predios del Señor Richard en la zona sur del país de Uruguay.

El área a tomar en cuenta fue 6800m^2 de los cuales se dividieron las 5 repeticiones y 3 tratamientos, el área no era uniforme ya que se midió el largo de las filas de cada tratamiento. En cada tratamiento se verificó que tenía una distribución no igual en el largo de cada fila, por lo que se midió y el tratamiento 1 66m , el tratamiento 2 tuvo 63m y el tratamiento 3 tuvo 60m , como se puede verificar que se trabajó con árboles frutales la distancia entre parcelas fue de 4m y entre plantas 1m .

5.2.4.3 Croquis de la Parcela Experimental

En la siguiente figura se muestra la distribución de los tratamientos en la parcela, además de la ubicación de los sensores de humedad.

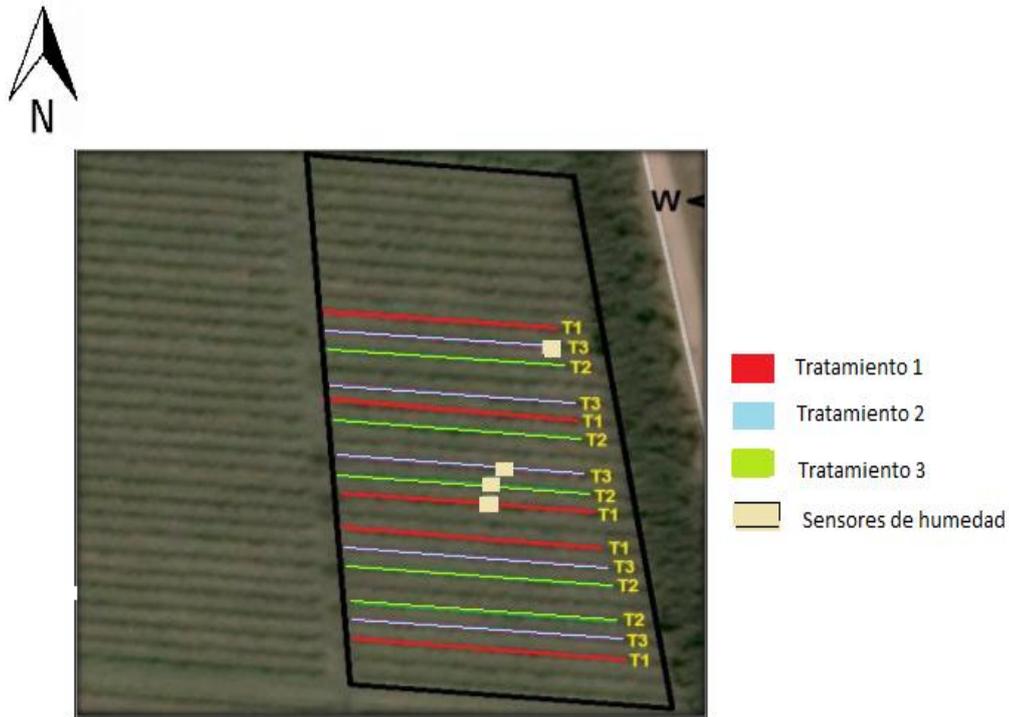


Figura 11. Croquis de la parcela experimental

5.2.5 Método de Riego Utilizado

5.2.5.1 Manejo del riego

El agua aplicada se midió mediante contadores volumétricos marca Contagua, instalados en cada una de las parcelas experimentales. El volumen de agua de cada tratamiento se controló variando el tiempo de aplicación, calculado mediante la ecuación 2.1, la frecuencia de riego osciló entre dos y tres días por semana.

$$tr = Va / Qa \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

tr = tiempo de riego (horas)

Va = volumen a aplicar (litros planta⁻¹ día⁻¹)

Qa = caudal aplicado (litros hora⁻¹ planta⁻¹)

5.2.6 Cálculo de la Evapotranspiración de Cultivo (ET_c)

Los procedimientos del cálculo presentados en esta investigación permiten la determinación de la ET_c con el método de FAO Penman-Monteith propuesto por (Allen et al. 2006).

Para estimar la evapotranspiración de cultivo (ET_c), se utilizó en el método teórico empírico de FAO Penman-Monteith, dicha ecuación se presenta a continuación:

$$E_{tc} = E_{to} * k_c \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

E_{tc}. = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

E_{to} = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

K_c = Coeficiente del cultivo (a dimensional)

Para la Evaporación de cultivo (E_{tc}), se utilizó valores climáticos actuales de la estación climatológica INIA Las Brujas, ubicada en Canelones. De acuerdo a la FAO el K_c para este cultivo fueron altos, pero para determinar el análisis climático ajustamos la k_c de acuerdo a las características que se vive en Uruguay.

5.3 Descripción de las Actividades

A continuación, se presentarán las siguientes actividades realizadas para el presente estudio.

5.3.1 Distribución de las Repeticiones

Las repeticiones fueron repartidas al azar tomando en cuenta la distribución de los tratamientos, dependiendo en a la distribución de los tratamientos.

5.4 Riego General de la Parcela

El riego en el Tratamiento Testigo no fue programado, de tal manera el cultivo solo dependió de la precipitación durante los ciclos restantes después de la etapa de plena floración, de manera contraria los restantes tratamientos si presentaron programación de riego.

Se realizaron los riegos por temporadas en los cuales en el tratamiento 1 llevo casi los 90 días de riego determinando cada 4 horas, cada 6 horas.

Mientras que el tratamiento 2 llevo 75 días de riego, por lo general el aporte de agua en el testigo fue 150 mm, el tratamiento 1 con 400,36 mm y el tratamiento 2 con 365,84 mm.

Los riegos fueron destinados como se dijo a diferentes etapas de fenológicas del cultivo de pera, para así poder cubrir la demanda de agua que necesita para obtener una buena producción.

5.4.1 Descarga de la Toma de Datos de los FRD

La descargado de datos registrados cada hora por los FDR(sensores) se estableció cada 15 días durante toda la zafra, tomando en cuenta que si existen las precipitaciones se realizaría después de dos días atrás.

Los datos de los FDR tomados fueron para determinar la evolución de la humedad del suelo para las distintas profundidades que se tomaron en cuenta la ubicación de los sensores. Y verificar las horas donde la planta absorbe mayor la humedad para así poder trabajar con los datos el balance hídrico para cubrir la demanda del agua.



Figura 12.Sensores de humedad

5.4.2 Descarga de la Toma de Datos de los Contadores

Los datos de los contadores se descargaron del equipo “Contador” cada 15 días al igual que los datos de los FDR, se registraron los datos para comprobar que el productor riegue los previsto por tratamiento, también se tomó en cuenta los días de precipitación para así poder determinar los registro adecuados para estimar el riego general que se tuvo en el trabajo de investigación.

5.4.3 Fecha de Inicio de Trabajo

El trabajo general inicio desde el 1 de octubre por los técnicos de la Estación INIA Las Brujas, una vez acordada con el dueño de la parcela se empezó a ubicar los sensores de humedad para los diferentes tratamientos que se utilizaron en el trabajo. El 15 de octubre se empezó a ubicar los sensores de humedad al cultivo

de pera, desde la fecha indicada empezó a determinar los datos cada 2 horas durante las 24 horas los 7 días a la semana.

5.4.4 Fertilización

Durante el ciclo del trabajo de investigación se estableció una dosis de fertilización por los técnicos de la Estación. En este trabajo de estudio no se tomó en cuenta las dosis de aplicación de fertilización hacia el cultivo ya que en la estación otros técnicos tomaron los datos. En la investigación solo tomamos en cuenta el riego aplicado en el cultivo.



Figura 13. Fumigación contra plagas y enfermedades

5.4.5 Control de Plagas y Enfermedades

El control de enfermedades fue un parámetro que no se determinó específico para este trabajo, pero el control de plagas se realizó con la ayuda de investigadores de INIA LB, tomando en cuenta que para el control de plagas se realizó mediante trampas aéreas y algunos métodos que se conocieron aquí. Para enfermedades no se tuvo un control específico ya que estas plantas son nuevas son plantadas el año 2010, se puede decir que son de tres años que recién empezaron a tomar en cuenta.

5.4.6 Cosecha

La cosecha se realizó a partir de febrero hasta fines de marzo, se determinó el inicio la cosecha cuando se identificó que los frutos ingresaron en estado de maduración en un 10% del total de la parcela, los frutos fueron madurando paulatinamente durante los meses mencionados, los cuales fueron cosechados manualmente y acopiados en predios destinados al manejo post cosecha.

El punto de madures fue determinado por el tamaño y la coloración de los frutos en árbol, del cual se extrajeron muestras para su análisis posterior.



Figura 14. Recolección de Peras

5.4.7 Características Físicas del Suelo

Las muestras que se tomaron fueron para determinar las características físicas del suelo fueron tomada en zanjas abiertas para el área de riego. Las muestras fueron tomadas simultáneamente inalteradas, se recogieron en cada suelo u volumen de 100cm^3 (tres muestras por capa) tomando en cuenta las profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60cm.

Las muestras fueron utilizadas para determinar la curva característica de agua en el suelo. A partir de esta muestra se tomó para análisis de tamaño de partículas y densidad de partículas. El análisis granulométrico se realizó por el método de la pipeta (Soil Conservation Service USDA, 1965), y para el análisis de la densidad de las partículas se utilizó el método del pictometro(Blake, 1965) y para el análisis de la clasificación de textura según USDA,(Soil Conservation Service 1972).

Las muestras para determinar las características físicas de suelo fueron tomadas en zanjas abiertas de cada una de las zonas de regadío. Se recogieron muestras de suelo en cada sitio, con anillos volumétricos de 100 cm³ a profundidades 0-20, 20-40 y 40-60 cm (tres muestras por capa de profundidad).

Las muestras de suelo serán utilizadas para determinar las curvas de característica de agua en el suelo. Para determinar estas muestras fueron llevadas a muestras de Laboratorio de Física de Suelos de INIA Las Brujas. El método utilizado fue descrito por (Richards, 1965), donde se utilizarán tensiones entre 0 a 40cm de H₂O en una mesa de tensiones para valores de tensión de agua entre 100 a 15000cm de H₂O, se utilizarán panales de presión. Para determinar las curvas de retención de agua realizadas en laboratorio serán equivalentes a 0, 30, 100, 1000, 5000 e 15000cm de H₂O, se utilizará la relación entre unidad volumétrica (θ) y potencial matricial (h) estimada por el modelo de VAN GENUCHTEN 1980 utilizado para las curvas son:

$$\theta_{\alpha} = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \times h)^n]^m} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 5)$$

Donde:

θ_{α} = humedad actual del suelo en m³.m⁻³

θ_r = humedad del suelo residual en m³.m⁻³

θ_s = humedad del punto de saturación del suelo en m³.m⁻³

α = parámetros de la ecuación y Van Genuchten

h = potencial matricial del módulo de agua del suelo en cm de agua.

A partir de estos datos se realizó los cálculos de la textura del suelo, y para determinar la infiltración básica del agua el suelo se utilizó el método de anillos concéntricos dobles (Bouwer, 1997). También se utilizó la ecuación de Kostiaikov, citado por (Libardi, 2000), para determinar la tasa de infiltración de agua en el suelo.

Los suelos se clasifico según la Carta de reconocimiento de suelos de Uruguay (1976) que se presentara en el siguiente cuadro

Cuadro 4. Clasificación de suelos y coordenadas geográficas para los suelos de trabajo de investigación en los diferentes tiempos de riego.

Lugar	Clasificación de suelos del lugar	Coordenadas geográficas
Juanico	BrunosolesEutricos	S 34°36'15.4'' W 56 13'45''

5.5 Variables de Respuestas

A continuación, se mostrará las variables de respuesta que se tomó en cuenta para el siguiente trabajo de investigación:

5.5.1 Parámetros del Estado Hídrico de la Planta

5.5.1.1 Potencial Hídrico Foliar

Se midió el potencial hídrico foliar, utilizando una cámara de presión (Soil Moisture Equipment Co., modelo 3000) en cinco hojas por tratamiento, siguiendo los procedimientos descritos por (Scholander et al., 1965), con una diferencia para determinar en qué estado de estrés se encuentra la planta. Las mediciones se hicieron pasando el medio día solar 13:00pm, durante dos semanas en los días soleados, el tiempo que se tomó las muestras fueron media hora para que no exista diferencia significativa en los resultados por las repeticiones que se tiene en los tratamientos, el procedimiento fue directamente que se cortó una hoja por tratamiento sana sin ninguna enfermedad de un árbol demostrativo, en la cual se llevó directamente a la cámara de presión de la cual se pudo observar el estado hídrico de la planta.



Figura 15. Cámara de presión para determinar el estado hídrico de la hoja

5.5.1.2 Determinación de la Intersección de Luz

Este parámetro se utilizó para determinar la forma de la copa del árbol el instrumento que utilizamos fue un Ceptometro (Decagom Devices Inc), tomamos en cuenta las mediciones de tres partes del árbol para determinar la forma de la copa y en qué lugar la intersección de luz llega más. Se dijo que se tomó tres lecturas las cuales tomamos en cuenta las alturas bajas, medio y alta de la planta se tomó la lectura de cuatro plantas por repetición se determinó tomar en cuenta los meses de febrero y marzo para tomar las lecturas.

Los datos obtenidos esperamos determinar la evolución de la copa de la planta para determinar la evolución de crecimiento de la copa, los frutales como recién están empezando a dar frutos son de plantaciones 2010 esperamos lograr con un buen manejo el rendimiento y crecimiento homogéneamente.



Figura 16.Ceptometro (Decagom Devices Inc) instrumento para determinar la intersección de luz.

5.5.2 Parámetros del Crecimiento Vegetativo y Análisis de la Calidad de la Cosecha de la Pera

5.5.2.1 Crecimiento del Fruto

Se realizaron mediciones desde octubre 2014 hasta enero 2015 que fue la cosecha, se midió cada 10 días para determinar el crecimiento de frutos de los cuales se seleccionaron 20 frutos al por repetición para establecer el crecimiento del fruto las mediciones se realizaron cada 10 días para determinar con mayor

precisión la curva de crecimiento y determinar una buena cosecha y producción. Para el medio el diámetro ecuatorial con un calibre manual (precisión 0.1 mm).



Figura 17 Crecimiento de la fruta para determinar la curva de crecimiento

5.5.2.2 Diámetro Ecuatorial

Con este parámetro queremos determinar la calidad de fruta, se realizó las pruebas de forma manual utilizando un calibre manual. Para determinar el diámetro utilizamos 4 frutos por repeticiones, empezamos a medir el diámetro ecuatorial del fruto así para tener un valor estándar del tamaño de fruto.



Figura 18 Las mediciones de los frutos para determinar el tamaño del fruto

5.5.2.3 Firmeza

Para este parámetro que es la determinación de la firmeza de la fruta estamos utilizando el instrumento llamado penetrometro, también se realizó con 4 frutos al igual que el otro parámetro. Se tomó en cuenta este parámetro para determinar la firmeza del cultivo de Pera y también viendo cuál de los tratamientos nos dio un buen resultado.



Figura 19 Evaluación de la firmeza de la fruta para determinar la firmeza de la fruta

5.5.2.4 Sólidos Solubles Totales

Este parámetro se analizó para determinar el porcentaje de azúcar que tiene el fruto, también se trabajó con cuatro frutos de los cuales se llevó a laboratorio en la cual analizamos con un penetro metro el cual se puso una gota del jugo de la pera al penetro metro y de acuerdo a los valores que reflejaban el instrumento pudimos determinar y establecer los resultados.

5.5.3 Parámetro de Producción

5.5.3.1 Rendimiento por Planta

La producción se evaluó a partir del peso y numero de fruto por árbol. En el ensayo de la Pera, se pesó a cosecha se determinó con una regresión del diámetro de fruta a cosecha mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Peso} = 6.80 \cdot D - 289 \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

D = diámetro del fruto

Se realizó tras la fórmula anterior la producción del trabajo de experimento para determinar cuál de los mejores tratamientos de riego se puede determinar cual obtuvo la mayor producción.



Figura 20 Acumulación de los frutos por tratamiento

5.6 Análisis Estadísticos

Los análisis estadísticos se realizaron en forma manual y con el programa SAS 9,1, para interpretar los resultados. Se realizaron análisis de varianza “ANOVA” y para la comparación de medias se utilizó la prueba Tukey, y una probabilidad de error de 5%.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos, de acuerdo al diseño experimental en el presente trabajo de investigación son; el análisis de Varianza (ANVA), el coeficiente de variación (CV), las comparaciones de Tukey al 5%. Para las graficas y curvas de dichas relaciones se empleo la hoja de calculo Excel (Office 2017 de Microsoft), también se presentaron las ecuaciones, coeficientes de determinación y niveles de significación estadístico de dichas curvas en los correspondientes resultados.

6.1 Descripción de las características climáticas

En el cuadro 4, manifiesta el seguimiento de los datos climáticos de los años 2014 y 2015, estas mismas ocurridas durante el periodo vegetativo de la pera, dando inicio en el mes de Octubre donde las condiciones fueron optimas para el inicio de la evaluación.

Cuadro 5 Registro de datos climáticos promedios durante el desarrollo del cultivo de Pera variedad Williams, Gestión 2014 y 2015

Año	Mes	Tem.	Tem.	Tem.	Viento (m/s)	Humedad	PP (mm/mes)	ETO (Mm/mes)	Radiación Solar (w/m ²)
		Max. (°C)	Min. (°C)	Media (°C)		Relativa (%)			
2014	Oct.	23,6	12,8	18,2	192,2	71,03	85,8	120,9	466,07
	Nov.	24,6	12,6	18,8	178,8	67,83	186,9	141	556,46
	Dic.	27,2	15,7	21,4	156,9	66,58	60,5	167,4	610,45
2015	Ene.	27,8	16,9	22,2	171,7	70,13	105,1	161,2	573,78
	Feb.	29,0	16,9	22,8	173,6	66,54	27,3	156,8	577,70
	Mar.	29,2	16,8	22,3	156,3	69,82	62,0	130,2	486,07

Tem. Ambiente: Temperatura máxima (°C); Temperatura mínima (°C); Temperatura media (°C.);
Vel. Viento: Velocidad del viento (m/s); **HR:** Humedad Relativa (%); **PP:** Precipitación (mm); **ETO:** Evapotranspiración (mm); **Rad. Solar:** Radiación Solar (w/m²).

Fuente: recopilación y elaboración propia (2019)

6.1.1 Evolución de las temperaturas en el periodo de la Pera

A continuación se muestra el comportamiento de las temperaturas máximas, medias y mínimas correspondientes al estudio experimental, gestión 2014 a 2015 (Figura 8)

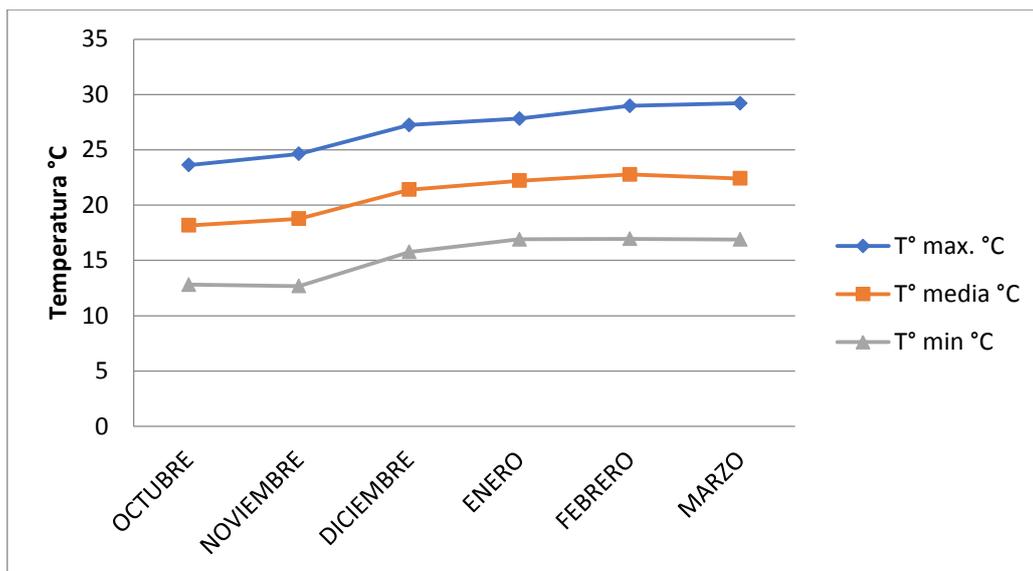


Figura 21 Comportamiento de la temperatura máxima, media y mínima (°C), registradas en la gestión 2014 a 2015, en la comunidad Juanico.

Como se puede observar en el grafico desde el mes de diciembre el aumento de la temperatura aumento favorablemente de acuerdo a los requerimientos del cultivo.

Según Ruiz (2003) el requerimiento de temperatura baja del peral es 10^aC. Desde los primeros meses del inicio del trabajo los datos obtenidos sobre pasa a los requerimientos del cultivo.

En el mes de febrero se registró la máxima temperatura durante toda la evaluación del trabajo, también se puede observar que la temperatura mínima registrada fue en el mes de Noviembre.

6.1.2 Evolución de la velocidad del viento y la humedad

La siguiente figura nos muestra las evoluciones de la velocidad del viento y la humedad relativa. Estos datos fueron registrados por la estación experimental INIA Las Brujas.

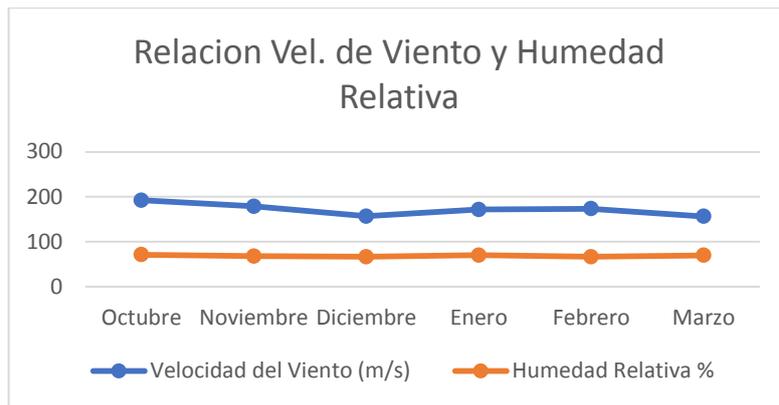


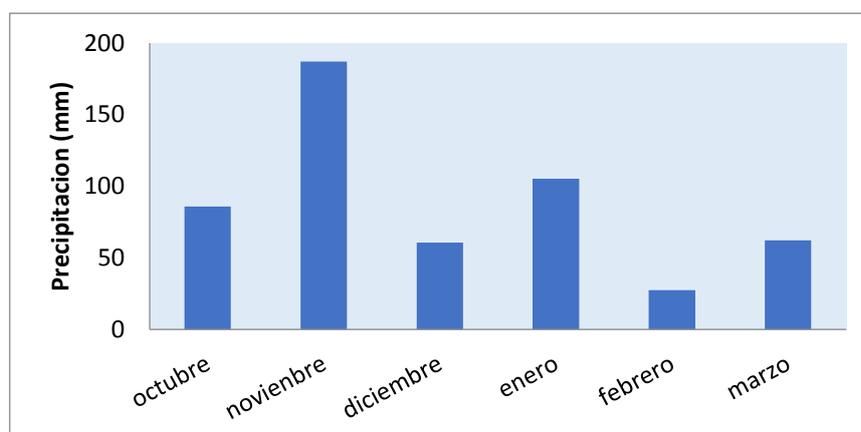
Figura 22 Relación Velocidad del viento y Humedad relativa

Los datos de la velocidad del viento no manifestaron amenazas considerables para el desarrollo y la producción de la pera. Los datos registrados de la Humedad Relativa en el periodo de la pera, se puede observar condiciones adecuadas para su desarrollo durante las etapas de estudio.

6.1.3 Precipitación durante en el periodo de la Pera

Durante las precipitaciones acumuladas durante la zafra 2014/2015 que se realizó en el estudio de investigación se pudo observar la diferencia de precipitaciones en los meses durante octubre hasta marzo. Gracias a la estación meteorológica de INIA Las Brujas se determinó la acumulación de precipitaciones que se registraron en la investigación.

Cuadro 6 Las precipitaciones durante la zafra 2014/2015 en el cultivo de pera en predios del señor Richard.



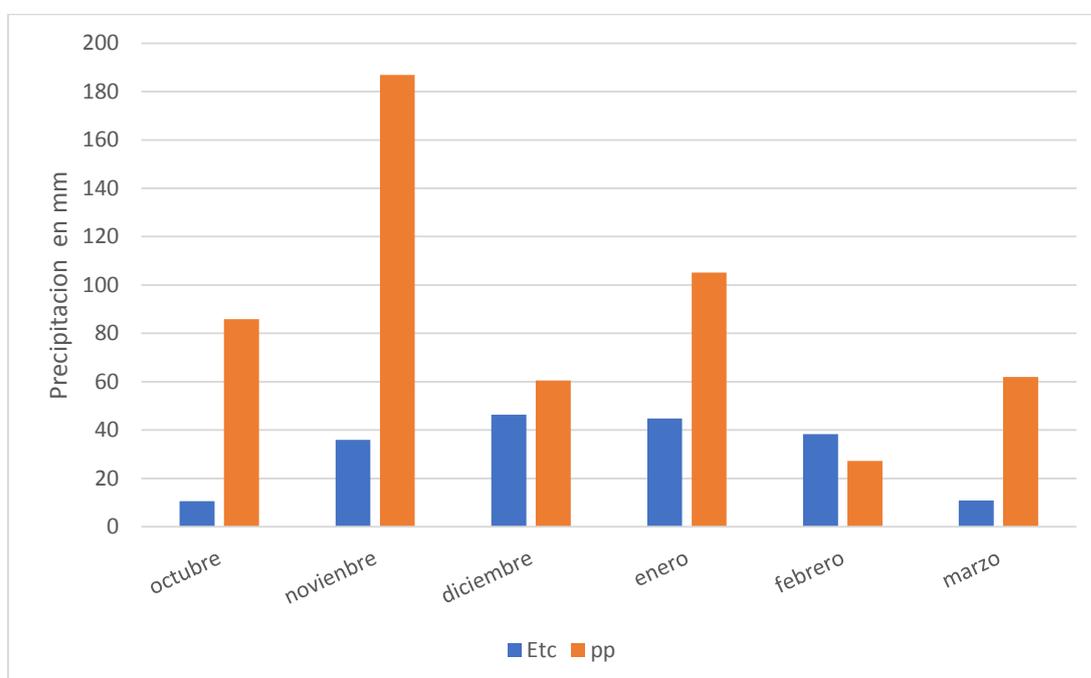
Fuente Elaboración propia, 2015

Como se puede observar en el gráfico durante los meses de investigación el mes con mayor precipitación fue el mes de noviembre con un 186,9 mm, y el mes con menor precipitación fue el mes de febrero con un 27,3 mm.

6.1.4 Relación ETc con Precipitación

Se realizaron registros para determinar las variaciones de la evapotranspiración del cultivo para cada mes, y realizar un análisis de comparación de los datos obtenidos por la estación experimental INIA Las Brujas. Como se registraron la acumulación de ETc. fue mayor siempre que las precipitaciones.

Cuadro 7 Acumulación y variación de la evapotranspiración de cultivo con la precipitación acumulada.



Los registros fueron acumulándose de acuerdo al análisis del balance, para determinar las variaciones de cada mes. Pero como se puede observar en el gráfico 6 se observó que los meses no fueron afectados ya que las precipitaciones siempre eran mayores que los requerimientos de la ETc., pero se tuvo un mes que el requerimiento fue mayor que las precipitaciones en la cual se pudo identificar que no se llegó a cumplir el requerimiento de la ETc del mes de febrero ya que este mes la precipitación fue menor que el requerimiento.

6.1.5 Radiación Solar

La siguiente figura demuestra la evolución de la radiación durante la evaluación del trabajo, como se puede observar.

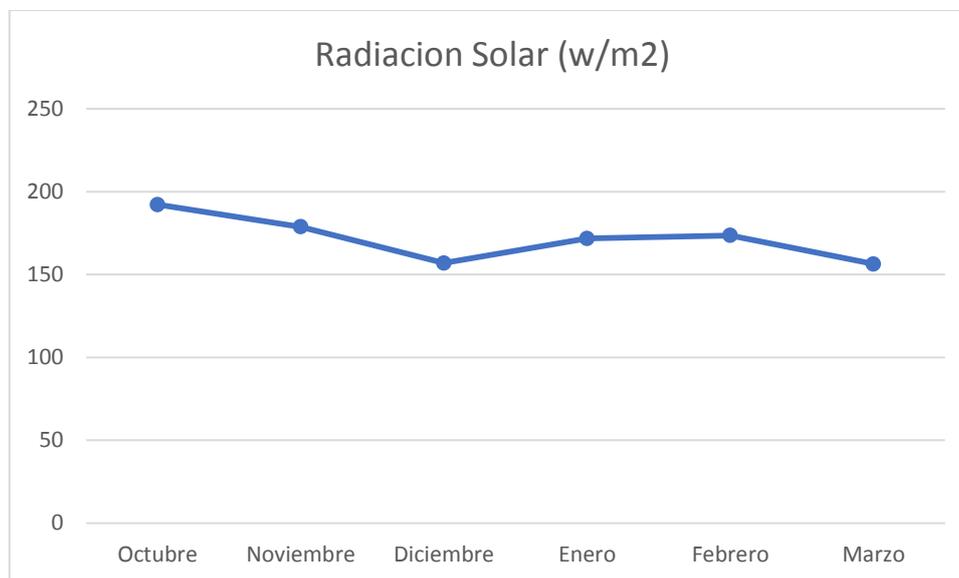


Figura 23 Radiación Solar

6.2 Relación de la Evolución de las precipitaciones pluviales y de la evapotranspiración de referencia en el periodo vegetativo de la Pera

El comportamiento de las PP vs ETo fueron parte de los referentes para las frecuencias de riego (figura 9); por otra parte Mijares (2007), indica que las lluvias deben oscilar entre 350 a 1000 mm por año; y según Doorenbos (1986)

Como se puede observar en la figura en el mes de Noviembre la Precipitación se incrementó un 186,9 mm, debajo de la ETo con un 139,9 mm. Con las precipitaciones acumuladas en los meses se puede observar que el cultivo no sufrió ningún problema en las diferentes etapas de su crecimiento del fruto.

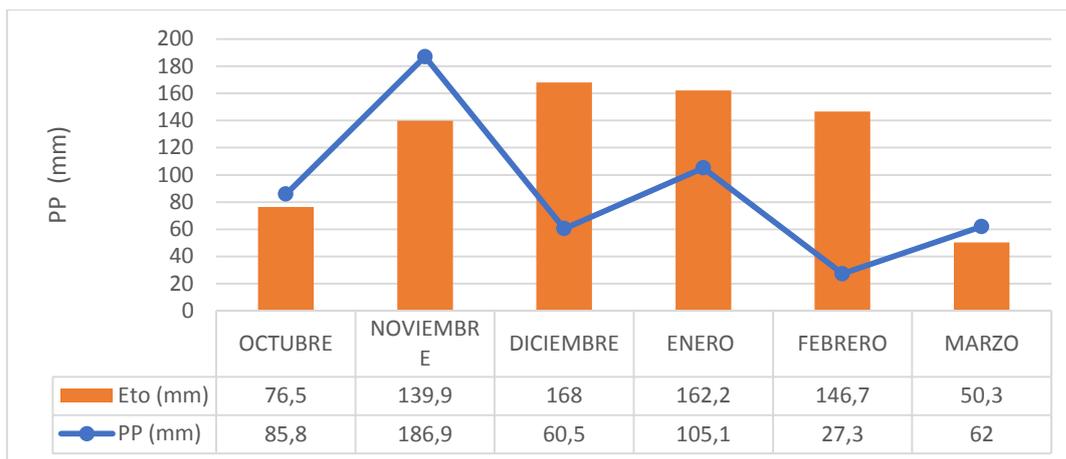


Figura 24 Relación de la ETo y la precipitación

En la figura 9, nos muestra la relación de la Eto y la precipitación, la Eto promedio del periodo 2014 – 2015 llegó a 124.0mm/año, este valor representa el gasto de agua por los cultivos y la evaporación del suelo. Infiltración de Agua en el Suelo

En el cuadro 5 se puede observar los valores promedios de infiltración de agua en el suelo.

Cuadro 8 Infiltración de agua en el suelo. (Ajuste por la ecuación de Kostiakov 1936, predio Juanico).

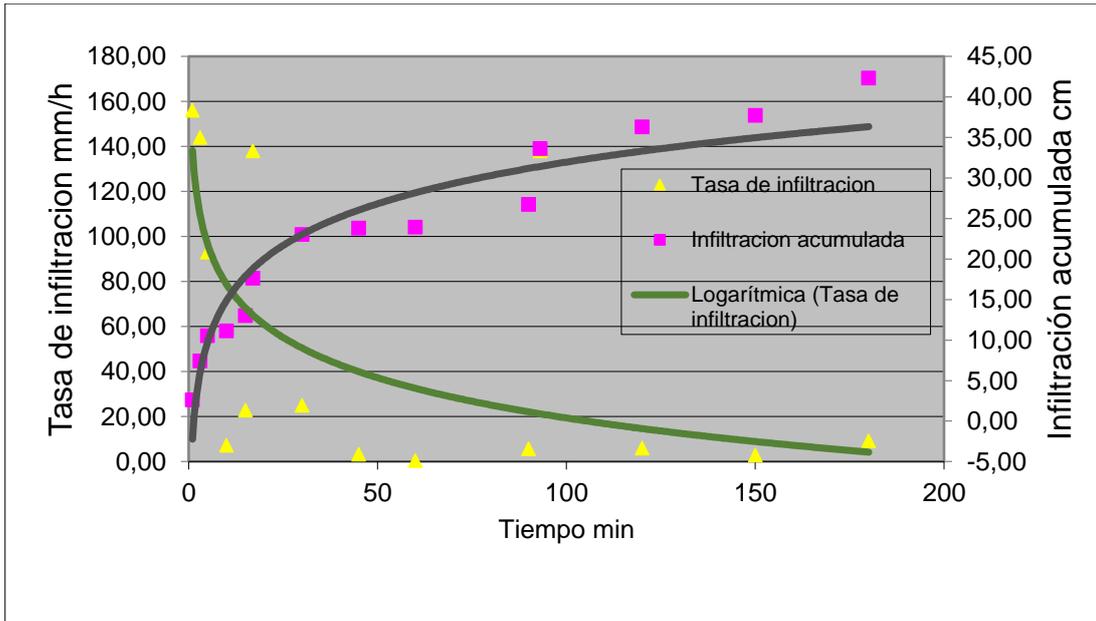
Predio	Ecuación de infiltración(Kostiakov)	Infiltración(mm/h)
Juanico	$I=3,795*t^{-0.473}$	22,3

De acuerdo a los datos obtenidos por el ajuste con la ecuación de Kostiakov (1936), el resultado final de la infiltración fue 22,3 mm, como se muestran en el cuadro 5.

6.2.1 Curva de Caracterización de Agua en el Suelo

Los resultados de la curva de agua en el suelo, fueron estimados por la ecuación de ajuste de Van Genuchten (1980), para determinar las diferentes profundidades del suelo en predios de Juanico Canelones.

Cuadro 9 Tasa de infiltración e infiltración acumulada para el cultivo de pera en Juanico.



Se realizaron pruebas para estimar la tasa de infiltración para este trabajo de investigación en la cual se puede verificar los datos utilizados para determinar los parámetros de investigación.

Como se puede observar en el gráfico 4 los resultados obtenidos para esta investigación.

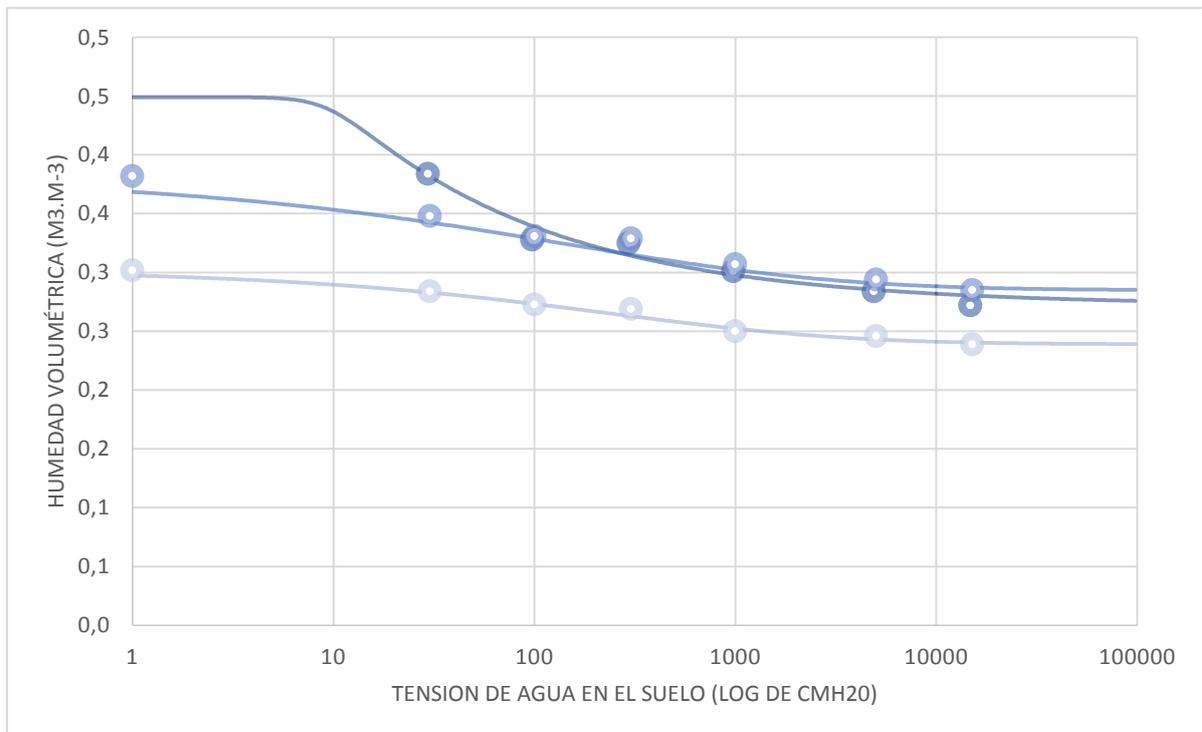


Figura 25 Curvas de característica de agua en el suelo en Juanico. Datos estimados a partir de parámetros de la ecuación de Van Genuchten

Para determinar los ajustes de las curvas de características de agua en el suelo se puede observar los siguientes datos del ajuste de la ecuación de Van Genuchten.

6.2.2 Lamina de Riego Aplicado en el Cultivo de Pera

6.2.2.1 Determinación de la Evapotranspiración del cultivo

Para los datos de temperatura se examinaron de datos promedio de mes.

La evapotranspiración de referencia se calculara para todo el ciclo del cultivo, es decir durante los meses que se desarrollara el cultivo, una vez que se tenga estos datos se calculara la evaporación del cultivo para cada mes con la siguiente formula:

$$ET_c = K_c * ET_o$$

Dónde: K_c = es el coeficiente del cultivo

ET_o = es la evo transpiración de referencia

a. Método de Penman

$$ET_o = c(W * R_n + (1 - W) * f(u) * (e_s - e_d))$$

Dónde:

ET_o = Evapotranspiración del cultivo

c = Factor de ajuste (Según Tablas)

W = Factor de ponderación (Según Tablas con T° med. Y altitud)

R_n = Radiación neta = mm/ día (Según Tablas FAO)-

$f(u)$ = Velocidad del viento ajustada = (coeficiente unitario por $u=0$)

e_a = Presión relativa = milibares (Según Tablas con T° med.)

e_d = Presión real = milibares (Según Tablas con R_n)

Tablas de resultado del cálculo de la Evotranspiracion de referencia

Meses	ET_o mm/día
Octubre	3.9

Noviembre	4.7
Diciembre	5.4
Enero	5.2
Febrero	5.6
Marzo	4.2

b. Calculo de la Evo traspiración del cultivo

$$ETc = Kc * ETo$$

Meses	Kc	ETo mm/dia	ETcmm/dia
Octubre	0.94	3.9	3.666
Noviembre	0.93	4.7	4.371
Diciembre	0.99	5.4	5.346
Enero	0.98	5.2	5.096
Febrero	0.84	5.6	4.704
Marzo	0.85	4.2	3.57

6.2.2.2 Procedimiento de programación del riego

Una vez se tengan datos de cultivo, clima, suelo y método de riego (anterior sección), se utilizara el siguiente procedimiento, calculando para cada mes que dure el cultivo:

a. Calcular la disponibilidad de agua en el suelo

Primero calculando el agua disponible total ADT es el agua útil y que está entre el contenido de humedad del suelo a CC y PMP, y depende de la profundidad efectiva del sistema radicular de los cultivos Prof (para este caso del cultivo de la pera), el agua disponible total se puede calcular por la siguiente ecuación:

$$ADT = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) * prof$$

$$ADT = (160.3 - 158.5) * 0,35m$$

$$ADT = 0.63 \text{ mm (para cada mes)}$$

Una vez obtenida la ADT, se ajusta esta al déficit permitido de manejo DPM, Este es el grado de depleción de humedad del suelo que se debe permitir antes de cada riego, Se lo puede calcular con la siguiente ecuación:

$$DPM=ADT*f$$

$$DPM= 0.63 \text{ mm}*1.252$$

$$DPM=0.788\text{mm (para cada mes de evaluación)}$$

Dónde: f representa al grado de absorción de agua por los cultivos = 1,252 (Según: Fuentes Yagüe, J.L.).

En proyectos de riego al déficit permitido de manejo se lo denomina lámina neta de riego o simplemente lamina neta, es decir:

$$Zn=DPM$$

$$Zn=0.788\text{mm}$$

b. Calcular el requerimiento neto de riego (In)

Este viene a ser la diferencia entre la demanda de agua (representada por la evapotranspiración) y la oferta (precipitación efectiva) en nuestro caso que será 0, ya que es una instalación cerrada:

$$In=ETc-Pe$$

Como las unidades de ambos están en mm, lógicamente In tendrá también estará en mm.

Donde la precipitación promedio diaria se observa a continuación

Meses	Precipitación mensual	Precipitación promedio diaria (mm/día)
Octubre	85.8	2.77
Noviembre	186.9	6.23
Diciembre	60.5	1.95
Enero	91.1	2.94
Febrero	17.3	0.62
Marzo	42	1.35
Total	483.6	15.86

De la cual se determina la lámina neta diaria

Meses	ETc mm/día	Precipitación promedio diaria (mm/día)	Lamina neta mm/día
Octubre	3.666	2.77	0.90
Noviembre	4.371	6.23	-1.859
Diciembre	5.346	1.95	3.39
Enero	5.096	2.94	2.15
Febrero	4.704	0.62	4.08
Marzo	3.57	1.35	2.21

c. Calculo de la lámina de riego bruta (Zb)

Tomando en cuenta la eficiencia del sistema de riego a utilizar Et, la lámina neta de riego Zn se debe ajustar con la siguiente relación:

$$Zb = Zn / ET$$

Donde Zb y Zn están en mm

$$Zb = 0,788 \text{ mm} / 0,65$$

$$Zb = 1.213 \text{ mm}$$

d. Calculo de la frecuencia de riego (Fr)

Este nos determina cada cuantos días debemos volver a regar el cultivo, este es una relación entre el agua presente en el suelo Zn y el requerimiento neto de riego In: $Fr=Zn/In$

Determinamos la frecuencia de riego

Meses	Zn	Lamina neta mm/día	Fr días
Enero	0,788mm	2.15	0.366
Febrero	0,788mm	4.08	0.193
Marzo	0,788mm	2.21	0.356

$$Fr=0.305 \text{ días (tres veces al día)}$$

e. Determinación del tiempo de riego

Para saber el tiempo que se debe regar, se debe contar con datos de la velocidad de infiltración básica VIB o caudal disponible Qd, para nuestro caso estimaremos la VIB con tablas , VIB = 22,3 mm/hr

Específicamente en la sección de Infiltración, que están dados de acuerdo a la textura del suelo del terreno, con esto calcularemos el tiempo de riego Tr utilizando la siguiente relación: $Tr=Zb*60/VIB$

Dónde: Tr estará en minutos, Zb en mm y VIB en mm/hr.

$$Tr=Zb*60/VIB$$

$$Tr=1.213mm*200/22,3 \text{ mm/hr}$$

$$Tr=10.88Hr/ciclo$$

Como se realizó la ecuación de cantidad de riego se puede observar en el siguiente cuadro las cantidades de agua total de que se utilizó en los siguientes tratamientos.

Tomando en cuenta los datos de precipitaciones.

Cuadro 10. Láminas de agua en diferentes tratamientos más la acumulación de la precipitación.

Tratamiento	Lamina aplicada(mm)	Precipitación (mm)	TOTAL (mm)
-------------	---------------------	--------------------	------------

T1	250	150,4	400,36
T2	215	150,4	365,84
T testigo	0	150,4	150,4

La aplicación de riego al cultivo de pera fue de acuerdo a las condiciones impuestas para cada tratamiento y en base a la programación del riego calculada. Se realizaba el riego 4 horas al día (1 hora de riego cada 6 horas).

6.3 Análisis del estado hídrico de las plantas.

6.3.1 Potencial Hídrico en la Planta

Se realizó el pertinente análisis estadístico, del variable potencial hídrico de la planta, este parámetro de investigación ayuda conocer el estado hídrico del cultivo, se realizó el respectivo análisis de varianza.

Cuadro 11 Análisis estadístico para determinar el potencial hídrico en la hoja de la pera var. Williams.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrado	Cuadrados de Medias	Fc	Ft
Tratamientos	2	25,95148	12,97574	36,03	<.0,001
Error	12	4,32168	0,36014		
Total	14	30,2716			

Grado de significancia al 0,001% con un CV=9,62; $R^2=0,85$ y un estrés medio 6,234

En el cuadro 11, se observó que el Coeficiente de Variación del respectivo análisis de varianza es de 9.62%, el cual se encuentra dentro de los rango aceptables para datos de campo. En consecuencia mencionamos que los datos registrados son confiables estadísticamente.

Cadena (2014), menciona al Coeficiente de Variación, es confiable si es menor o igual 15% para actividades agropecuarias. Como se observa en la presente.

Se deduce del cuadro de análisis de varianza de la fuente de variabilidad Tratamientos, indica las diferencias altamente significativas entre los promedios de los tratamientos. Se realizó el respectivo análisis de comparaciones de medias, para el caso Tukey.

Para estudiar las diferencias entre tratamientos se realizó una comparación de medias de acuerdo al estadístico Tukey, con un nivel de significancia de 5%.

Tratamientos	Promedio (MPa)	Tukey (0.05)
T2	8,08	A
T1	5,43	B
T0	5,17	B

Cuadro 12 Prueba de medias de Tukey.

De acuerdo al cuadro 12, los tratamientos a diferentes etapas de riego para determinar el nivel de estrés que están las plantas, se pudo observar que el tratamiento 2 es superior estadísticamente frente al tratamiento 1 y testigo.

En el siguiente cuadro 12 se muestra una relación directamente proporcional a los niveles de estrés que tienen las hojas, es decir que el tratamiento 2 tuvo un estrés alto que llegó a un máximo de 8,08MPa, el segundo fue el tratamiento 1 con un 5,43MPa y el último que determinó que no tuvo mucho estrés en las hojas fue el tratamiento testigo con 5,17MPa.

Este comportamiento se puede explicar en principio por la edad de las hojas (Jiménez y Gutiérrez, 2011), debido a que en esta primera etapa de evaluaciones las hojas eran más jóvenes, también se estima que algunos indicadores climáticos como la nubosidad y la intensidad de la radiación solar pueden haber influido en estos valores.

6.3.2 Determinación de la Calidad de Fruta

Se realizaron pruebas de laboratorio para determinar la calidad de fruta por diferente parámetro, de las cuales se mostrará en los siguientes puntos:

6.3.2.1 Análisis de las Dimensiones de la Calidad de Fruta

Se realizó el pertinente análisis estadístico, del variable crecimiento del fruto, este parámetro de investigación ayuda a conocer la evolución del crecimiento de la fruta, se realizó el respectivo análisis de varianza.

Cuadro 13 Análisis estadístico del tamaño de fruta para diferentes láminas de riego.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft
Tratamiento	2	31,21	15,60	6,19	0,014*
Error	12	30,25	2,52		
Total	14	61,47			

Grado de significancia al 0,001% con un CV 2.563;

De acuerdo al cuadro 13, se observó que el Coeficiente de Varianza del respectivo análisis de varianza es de 2,563%, el cual se encuentra dentro de los rangos aceptables para datos de campo. En consecuencia mencionamos que los datos registrados son confiables estadísticamente.

La diferencia probablemente se deba, a la diferencia entre láminas de riego que se tuvo en la investigación.

Cadena (2014), menciona al Coeficiente de Variación, es confiable si es menor o igual 15% para actividades agropecuarias. Como se observa en la presente.

Se verifica del cuadro de análisis de varianza de la fuente de variabilidad Tratamientos, indica las diferencias significativas entre los promedios de los tratamientos

Se realizó el respectivo análisis de comparaciones de medias, para el caso Tukey.

Para estudiar las diferencias entre tratamientos se realizó una comparación de medias de acuerdo al análisis estadístico Tukey con un nivel de significancia de 5%.

Cuadro 14 Prueba de Medias de Tukey

Tratamiento	Medias (cm)	Tukey
T2	63,16	A
T1	62,69	A
T0	59,91	B

De acuerdo al cuadro 14, se tiene que los tratamientos a diferencia etapas de riego para determinar el crecimiento del fruto, se pueden observar que los tratamientos 1 y 2 son superiores al tratamiento testigo.

En el cuadro 14, muestra una relación directamente proporcional al crecimiento del fruto, decir que el tratamiento 2 tuvo mayor crecimiento de fruto con un 63,16 cm, el segundo fue el tratamiento 1 con un 62,69 cm y el último tratamiento que es el testigo nos dio un crecimiento de 59,91 cm.

Las razones por las cuales la calidad del fruto no se vio afectada por la restricción del riego, puede deberse a que la disminución de la lámina de agua fue moderada o por los mecanismos de la planta para responder ante esta situación de limitación hídrica, tal y como fue informado por Kang y Cai (2002).

6.3.2.2 Análisis de la Firmeza de la Fruta

Se realizó el pertinente análisis estadístico, del variable de firmeza de la fruta, este parámetro de investigación ayuda conocer el estado de la firmeza de la fruta, se realizó el respectivo análisis de varianza.

Cuadro 15 Análisis estadístico para determinar los resultados de la evaluación de la firmeza de la fruta.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft
Tratamiento	2	1,41	0,709	2,19	0,15
Error	12	3,88	0,324		
Total	14	5,3			

*Grado de significancia al 0,001% con un CV 2.779

De acuerdo al cuadro 15, se observó que el Coeficiente de Varianza del respectivo análisis de varianza es de 2,77%, el cual no se encuentra dentro de los rangos aceptables para datos de campo. En consecuencia mencionamos que los datos registrados son confiables estadísticamente.

Al realizar el siguiente análisis estadístico nos indica que no hubo diferencia significativa entre tratamientos.

Se realizó el respectivo análisis de comparaciones de medias, para el caso Tukey.

Cuadro 16 Prueba de Medias de Tukey.

Tratamiento	Media (lb)	Tukey
T2	20,9	A
T1	20,37	A
T0	20,17	A

De acuerdo al cuadro 16, no se tuvo diferencia significativa entre los tratamientos.

Confirma que la forma de la pera variedad Triunfo de Viena, está muy cercana a una forma redonda en comparación con otras variedades, valores similares fueron encontrados por Molina (2014) y menores por Arenas *et al.* (2012).

6.3.2.3 Análisis de Sólidos Solubles de la Fruta (°Brix)

Se realizó el pertinente análisis estadístico, del variable de Sólidos solubles de la fruta, este parámetro de investigación ayuda conocer el estado de la Sólidos solubles de la fruta, se realizó el respectivo análisis de varianza.

Cuadro 17 Análisis estadístico para determinar la diferencia de sólidos soluble en el cultivo de pera.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	de Cuadrados medios	Fc	Ft
Tratamiento	2	11,226	5,61	24,62	0,001*
Error	12	2,73	0,23		
Total	14	13,96			

*Grado de significancia al 0,001% con un CV 3,865

De acuerdo al cuadro 17, se observó que el Coeficiente de Varianza del respectivo análisis de varianza es de 3,86%, el cual se encuentra dentro de los rangos aceptables para datos de campo. En consecuencia mencionamos que los datos registrados son confiables estadísticamente.

La diferencia probablemente se deba, a la diferencia entre láminas de riego que se tuvo en la investigación.

Cadena (2014), menciona al Coeficiente de Variación, es confiable si es menor o igual 15% para actividades agropecuarias. Como se observa en la presente.

Se verifica del cuadro de análisis de varianza de la fuente de variabilidad Tratamientos, indica las diferencias significativas entre los promedios de los tratamientos

Se realizó el respectivo análisis de comparaciones de medias, para el caso Tukey.

Para estudiar las diferencias entre tratamientos se realizó una comparación de medias de acuerdo al análisis estadístico Tukey con un nivel de significancia de 5%.

Cuadro 18 Prueba de Medias de Tukey.

Tratamientos	Media (°Brix)	Tukey
T2	13,56	A
T1	11,91	B
T0	11.58	B

De acuerdo a la clasificación de Tukey al 5% de probabilidad en el gráfico 21, se observa que el tratamiento 2 obtuvo mayor contenido de sólidos solubles, a comparación del tratamiento 1 y testigo.

Los valores del porcentaje de ácido málico fueron menores a los encontrados por (Arenas, *et al.* 2012) y mayores a los de (Molina, 2014) mientras que los °Brix obtenidos son mayores a los reportados por (Arenas *et al.*, 2012 y Molina, 2014) para el mismo cultivo, mientras que si fueron muy similares a los encontrados por Yang *et al.* (2013) en *Pyrus. Breta chneideri* Rehd con láminas de riego del 60 y 40% de la ETo. También el índice de madurez fue similar al encontrado por Parra *et al.* (2006) en esta misma variedad.

7 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permitieron arribar a las siguientes conclusiones:

- Durante los meses del estudio la condición hídrica del suelo monitoreada periódicamente mediante lecturas de θ_v y Ψ_s evidenció un comportamiento de acuerdo a las láminas de riego aplicadas.
- El riego deficitario permite ahorrar agua ya que en este país este sistema es el más utilizado en frutales de hoja caduca, donde el costo y la disponibilidad de agua de riego representan un aumento de problemas en las actividades agrícolas.
- La cantidad de agua aplicada por riego fue en total en el tratamiento 1 se aplicó una lámina de agua de 400,36 mm, el tratamiento 2 se aplicó una lámina de agua de 365,84 mm y el tratamiento testigo se aplicó 150,4 mm.
- Tomando en cuenta las precipitaciones de se registraron en los meses de investigación se registró una precipitación acumulada de 527.6mm, verificando siempre y cuando que las precipitaciones fueron altas en los primeros meses de investigación.
- Determinando la producción por tratamiento se pudo verificar que el tratamiento 1 obtuvo mayor rendimiento que con una relación de 400,36mm se obtuvo un rendimiento de 16010Kg/ha ya que este tratamiento fue determinado riego hasta los 50 días de plena floración, pero con las precipitaciones que se registraron se comprobó el tratamiento con mayor rendimiento de fruta. El tratamiento 2 con 365,84mm obtuvo un rendimiento de 14363Kg/ha este tratamiento se tubo un riego a los 65 días de la floración. Y el tratamiento testigo tuvo una relación de 400,36mm tuvo un menor rendimiento de producción que llego a 12164Kg/ha ya que a este tratamiento no tuvo riego durante el ciclo de de trabajo.
- En relación al crecimiento de fruto se pudo observar los siguientes tratamientos los mejores tratamientos fueron el tratamiento 1 y2 estos dos tratamientos dos dieron los mejores resultados en cuestión al tratamiento testigo.

- Desde el punto de vista, económico, ecológico y ambiental, se demostró los beneficios de la reducción de la lámina de riego para el cultivo del pero en condiciones comerciales, representando en las épocas de sequía un ahorro de agua del 47,15% con sus consecuentes reducciones en ahorros energéticos y otros gastos relacionados con el riego.

8 RECOMENDACIONES

Atendiendo a incógnitas encontradas durante el desarrollo de la investigación y no abordadas aun, se recomienda para hacer un uso más eficiente del agua en el cultivo que:

- En futuras investigaciones se evalúen láminas de riego en diferentes tiempos de las necesidades hídricas, con el fin de encontrar una lámina de riego mínima que no afecte la calidad y la producción del peral.
- En vista que los cambios de climáticos de Uruguay registrados en el momento de la evaluación del trabajo se puede recomendar trabajar este método en época seca o en ciclos sin precipitación.
- Se recomienda determinar el efecto o evaluar si a un mayor tiempo de evaluación y un menor tiempo de riego ser factible para trabajos futuros.
- Como se vio el estrés hídrico en las hojas el tratamiento 3 al inicio tuvo un estrés alto en variación a los rangos establecidos si se llegaba a aumentar se puede decir que se debería controlar para que la planta no sufra consecuencias, pero como en las demás dediciones bajo el alcance ya no fue necesario para determinar el control.
- Se recomienda realizar un análisis de beneficio costo para determinar la producción de la cosecha y la calidad del fruto.

9 BIBLIOGRAFÍA

Allen, i.h., jones, p. Y jones, j. W. 1985. aumento de la co2 atmosférico y la evapotranspiración. proc. Natl. Conf. Sobre avances en evapotranspiration Estados Unidos de América.

Agustí, m.2004. Fruticultura 493p. Editorial mundi prensa. Madrid, España.

Ahmed, m. 2008. Biodiversidad en peras (pyrus spp.), caracterización y conservación de germoplasma azad. Tesis de doctorado. De la Universidad Mutan.

Braun, p., d. Aspinall y f. Lenz.1989.el uso de indicadores fisiológicos del estado de las aguas en el programa del riego en cítricos. Acta horticultura 240, 267-270.

Cabrera, d 2007.el cultivo del peral en el uruguay – pautas tecnológicas. Fruticultura profesional no 168, p 33-40

Castro,C. Diseño de Sistemas de Riego: Fundamentos: Apuntes de Riegos I [en línea]. Versión 1. Artículos Varios. 2009.[Consultado el 26de octubre de 2012]Disponible en internet: <http://elknol.wordpress.com/article/disenode-sistemas-de-riego-fundamentos-1i29ptfum49sf-5/>.

Coutinho, E.F.; MalGarim, M.B.; Souza, Edson Luiz de;Treptoe, R.O. Qualidade pós - colheita da pêra (Pyrus communis L.) Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal,v 25, n.3, p.417-420, 2003.

Chipana, r. 2003. Principios de riego y drenaje. Irtec. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia.

Dirección de estadísticas agropecuarias (diea) .2009. Encuesta frutícola 2008/2009. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca

Doorenbos, j. Y kassam, a.h. 1979.rendimiento respuesta al agua. Estudio fao de riego y drenaje no. 33, organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, roma, 193 pp.

Ferre, d. 1980. Desarrollo y la eficiencia de rendimiento de tres manzanas golden delicioso en cuatro árboles en cuatro sistemas de gestión de la huerta. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105 (3): 376-380.

Flores-López, r., f. Sánchez del Castillo, j.e. Rodríguez-Pérez, r. Mora-Aguilar, m.t. Colinas-León y h. Lozoya-Saldaña. 2009. Efecto de la radiación solar en la producción de patatas de siembra en el cultivo sin suelo. Rev. Chapingo ser. Hortic. 15 (1), 25-30.

FAO Food and Agriculture Organization. Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio riego y drenaje estudio 56, Rome. 2006. p. 5-7,89-100

García-Petillo, M. Respuesta a diferentes manejos del riego y balance hídrico de unhuerto de cítricos. Valencia: universidad politécnica de valencia, escuela técnica superior de ingenieros agrónomos. 2002. 194p. Tesis doctoral

Garriz, p.i., g.m. Colavita y h.i. Alvarez. 1998. Frutas y crecimiento de las hojas espuela y la calidad como influenciados por los bajos niveles de irradiación en la pera. Sci. Hortic. 77, 195-205.

Gil, g. 2000. El potencial productivo. Crecimiento vegetativo y diseño de huertos y Viñedos. 342 p. Tercera edición. Ediciones pontificias universidad católica de chile, santiago, chile.

Gil, A. (1991). Tratado de arboricultura frutal morfología y fisiología del árbol frutal. Mundi-prensa, Madrid.

Jiménez, K. y Gutiérrez, M. 2011 Relaciones hídricas en árboles del bosque tropical Revista forestal mesoamericana Kurú8 (20), (1-8).

Jackson, d. Y j. Palmer. 1999. de pepita. Pp. 189-202. Es: jackson, d.i. y n.e. looney (eds.). Producción templada y subtropical fruta. Ed 2ª. Cabi publicidad, en Reino Unido

Jara, .y Valenzuela, A. Necesidades de agua de los cultivos. Universidad de concepción, facultad de ingeniería agrícola, departamento de riego y drenaje. Chillan (Chile), 1998.

Kang, S. y Cai, H. 2002 Theory and practice of partial-rootzone alternative irrigation and deficit irrigation. China Agricultural Press. Beijing.

Leoni, c. 2005. Necrosis de la yema de flor en peral. Avances de investigación en Uruguay. In. Avances de investigación en el cultivo del peral. Serie actividades de difusión no. 436. Inia las Brujas. 16-24 p.

Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Diea. Anuario estadístico agropecuario. 2009. 215p.

MitchamElizabeth j., Elkins, Rachel b. 2007. producción pera y manual de manejo. Universidad de California. Isbn-13: 978-1-879906-65-5.

Nuñez s. 2005. cydiapomonella, gusano de las peras y las manzanas. In: lepidópteros de importancia económica en el Uruguay, reconocimiento, biología y daños. Bentancourt c. E i. Scatoni (eds). Segunda edición. Pp 189 - 209. Editorial hemisferio sur - facultad de Agronomía. Uruguay.

Nuñez s., Garcia s., Paullier j., Pagani c. Y Maeso d.1998. Guía para el manejo integrado de plagas y enfermedades en frutales. Boletín de divulgación n°66, 117 pp. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria.

Parra C., A. Diseño de una metodología para la determinación de las características físicas y fisiológicas necesarias para el adecuado manejo cosecha y poscosecha de pera en Nuevo Colón (Boyacá).1997. 128 f. Tesis [Grado] - Maestría en Gestión Ambiental para el Desarrollo. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 1997

Robinson, 1991. Bases de rendimiento y la eficiencia de la producción en el sistema de huerto de manzanas. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116 (2): 188-194.

Robinson, t. L; a. N. Lakso and z. Ren. 1991. modificación de copas de los árboles de manzana para mejorar la eficiencia de la producción. Hortscience 26 (8): 1005-1011.

Rojas-Lara, p.c., m. Pérez-Grajales, m.t.b. Colinas-León, j. Sahagún-Castellanos y e. Avitia-García. 2008. Modelos matemáticos para estimar el crecimiento del fruto en pimiento (*capsicum pubescens* manzana r y p). Rev. Chapingo ser. Hortic. 14 (3), 289-294.

Rom, c. R. 1991. umbrales de luz para el crecimiento copas de los árboles de manzana y el desarrollo. Hortscience 26 (8): 989-992.

Ruiz-Sanchez, m. C., Girona, j. 1995. investigación sobre riego deficitario controlado en melocotero, en: riego deficitario controlado. Fundamentos y aplicaciones. Colección cuadernos valeu 1. Mundi Pesa/Unión Europea, p 67-90.

Vélez, j., d. Intrigliolo y j. Castel. 2007. La programación de riego deficitario de árboles de cítricos con la máxima contracción diaria del tronco. Agricultura. Gestión de agua. 90 (3), 197-204.

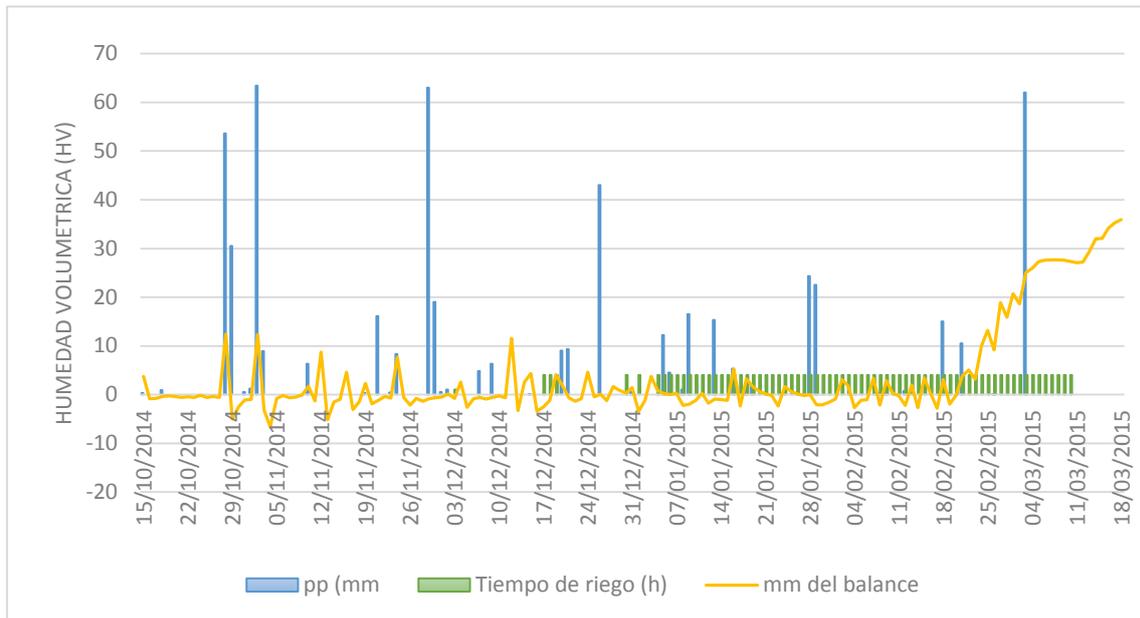
Vélez, j.e. y j. G. Álvarez. 2012. Riego en frutales. Pp. 186-204. En: fischer, g. (ed.). Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Promedios, Bogotá.

Westwood, m.n. 1993. pomología de zonas templadas. Ed 3a. Timper press, oregon, oregon.

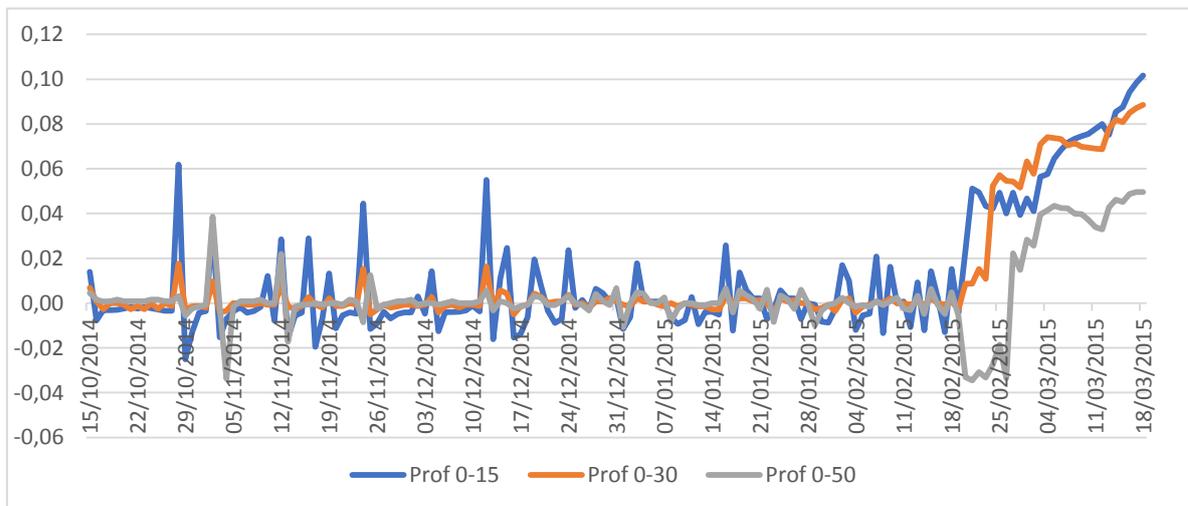
Wünsche, j. N; a. N. Lakso; t. L. Robinson; f. Lenz y s. S Denning. 1996. Las bases de la productividad en los sistemas de producción de apple: el papel de la intercepción de luz por diferentes tipos de brotes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121 (5): 886-893.

ANEXOS

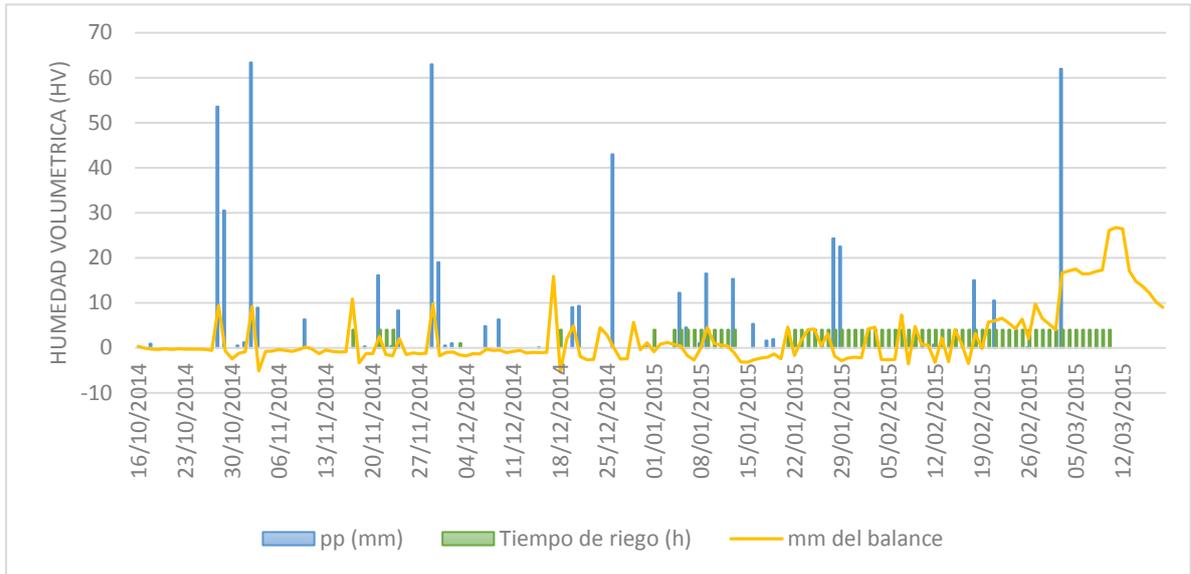
Anexo 1. Muestra el balance tomados en cuenta para cada tratamiento, tomando en cuenta los datos de los sensores de humedad. Tratamiento 1



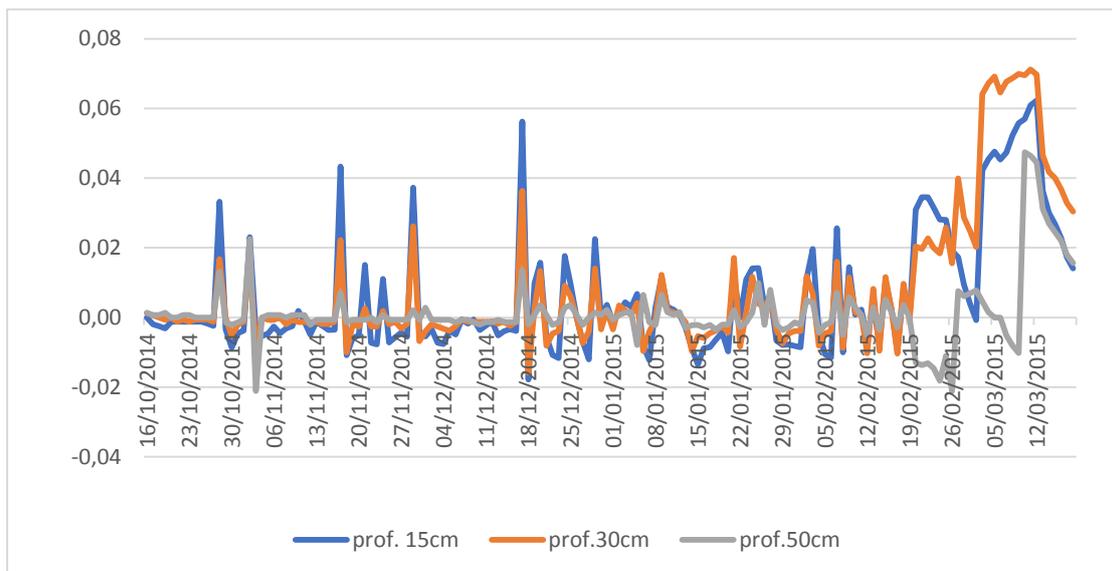
Anexo 2. Evolución de la humedad de los suelos tomados por los sensores de humedad



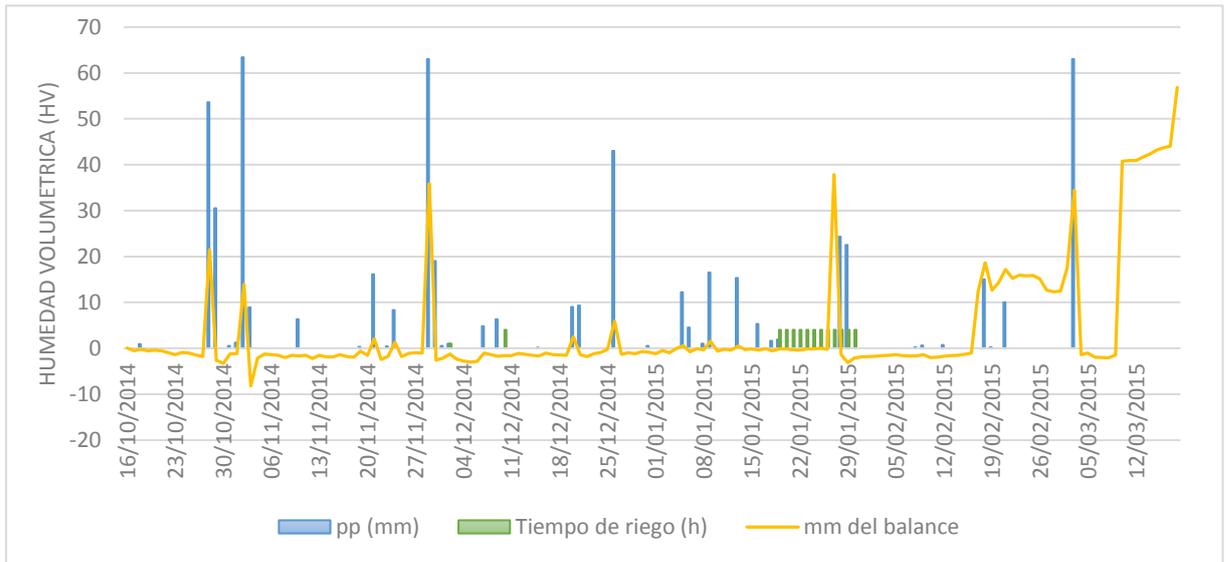
Anexo 3 Muestra el balance tomados en cuenta para cada, tomando en cuenta los datos de los sensores de humedad. Tratamiento 2



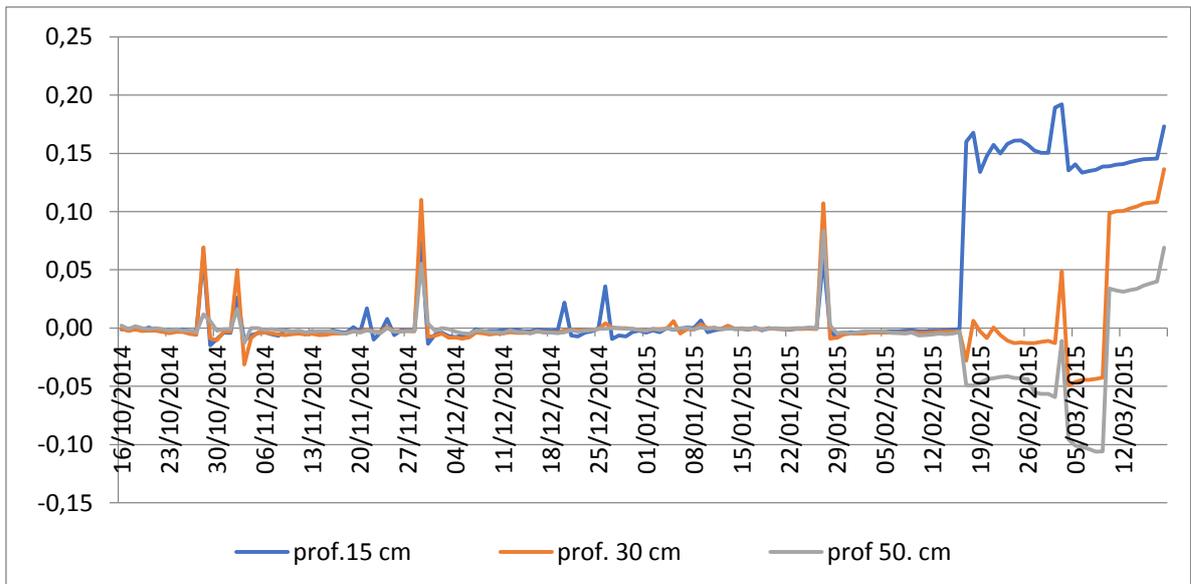
Anexo 4 Evolución de la humedad de los suelos tomados por los sensores de humedad



Anexo 5 Evolución de la Humedad de Agua en el Tratamiento Testigo



Anexo 6 Evolución de la humedad de los suelos tomados por los sensores de humedad



FOTOS DE CAMPO DURANTE LA EVALUACION DEL TRABAJO

Anexo 7 Ubicación de los Sensores de Humedad



Anexo 8 Toma de muestras para determinar el estrés hídrico de las plantas en las hojas.



Anexo 9. Mediciones de fruto



Anexo 10. Determinación de la firmeza del fruto



Anexo 11 Determinación del tamaño del fruto



Anexo 12 Mediciones con el Ceptometro (Decagom Devices Inc)



Anexo 13 Producción del cultivo Pera var. William's

