

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
POSTGRAGO



TESIS DE MAESTRÍA

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DEL AGUA, EN EL CULTIVO DE
VID, EN EL MUNICIPIO DE LURIBAY**

ANGELA MARIA PALACIOS NOGALES

LA PAZ – BOLIVIA

2013

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
POSTGRADO

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DEL AGUA, EN EL CULTIVO DE
VID, EN EL MUNICIPIO DE LURIBAY**

*Tesis de Maestría presentado como requisito parcial para optar el Título de Maestro en
Ciencias en Manejo Sostenible del Agua y Riego en Zonas Áridas.*

ANGELA MARIA PALACIOS NOGALES

Asesor:

Ing. M. Sc. Paulino Ruiz Huanca

Tribunal Examinador:

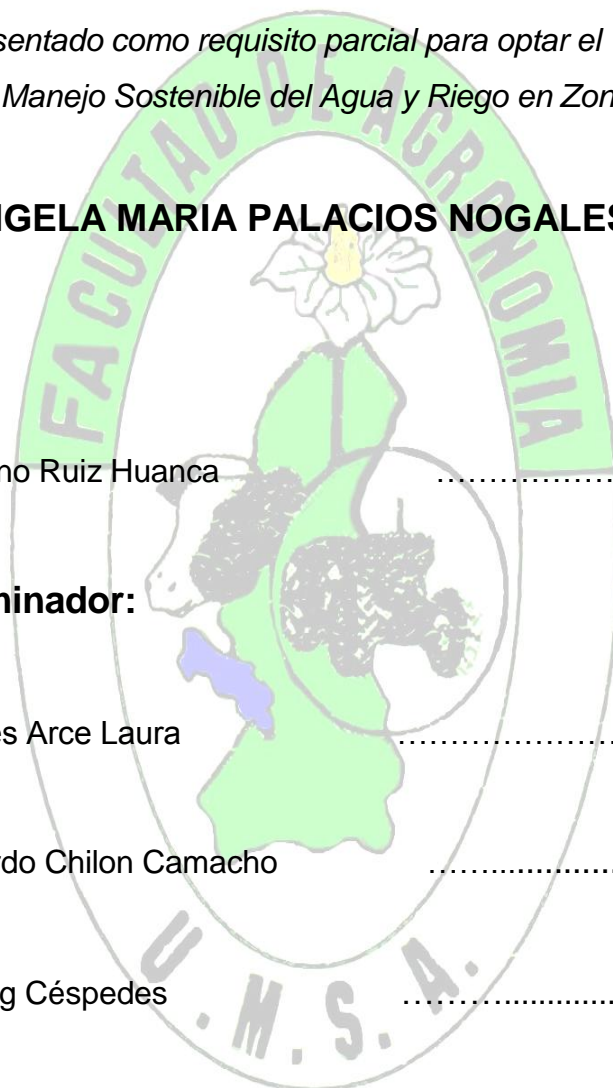
Ing. Ph. D. Aquiles Arce Laura

Ing. M. Sc. Eduardo Chilon Camacho

Dr. Vladimir Orsag Céspedes

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador



AGRADECIMIENTOS

En este trabajo de tesis, participaron directa e indirectamente, personas e instituciones sin cuya valiosa colaboración no se hubiese culminado. Es por ello que debo reconocer mediante un sincero agradecimiento a:

Al Programa de Post Grado de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, por brindarme nuevamente la oportunidad de realizar este curso.

Al Ing. M. Sc. Paulino Ruiz Huanca por la disposición y apoyo brindado a lo largo de este trabajo de investigación.

Al Ing. Ph. D. René Chipana Rivera por toda la orientación y consejos a lo largo de todo este proceso de investigación.

A los ingenieros Ph. D. Aquiles Arce, M.Sc. Eduardo Chilon y Ph. D. Vladimir Orsag, por el tiempo dedicado a la revisión de este documento y su valiosa transferencia de conocimientos para enriquecer el contenido del mismo.

Al Proyecto FONTAGRO por el apoyo financiero y por la colaboración a través de sus investigadores.

Al Sr. Victor Touchard por concedernos desinteresadamente el área experimental y todo el apoyo brindado durante el desarrollo de esta investigación.

A mis amigos Carlos López Blanco y Wily Flores Mancilla sin quienes todo hubiera sido más difícil en esta etapa que nos toco compartir. A todos los integrantes del curso de maestría “Manejo Sostenible del Agua y Riego en Zonas Áridas”, por todas las experiencias compartidas.

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	ii
INDICE DE TABLAS	v
INDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN	ix
SUMMARY	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVO GENERAL	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. REVISION BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. PRODUCCIÓN DE UVA EN BOLIVIA	4
3.2. ASPECTOS GENERALES DEL CULTIVO DE VID.....	5
3.2. DEMANDAS DE AGUA DEL CULTIVO DE VID.....	6
3.3. BALANCE HÍDRICO.....	8
3.3.1. <i>Principales parámetros del balance hídrico</i>	11
3.3.1.1 Evapotranspiración	11
3.3.1.2 Lámina de agua proporcionada por precipitación.	14
3.3.1.3 Lámina de agua proporcionada mediante riego.....	14
3.4 RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO.....	14
3.5 PRODUCTIVIDAD DEL AGUA	16
3.5.1 <i>Funciones de producción</i>	17
3.5.1.1 Etapas de la función de producción simple.....	18
4. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
4.1. LOCALIZACIÓN	19
4.2 METODOLOGÍA	20
4.2.1 <i>Selección de plantas</i>	22
4.2.2 <i>Labores culturales</i>	23
4.3 EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	24

4.3.1	<i>Determinación de la velocidad de infiltración</i>	25
4.3.2	<i>Determinación de la capacidad de retención de agua en el suelo</i>	25
4.3.2.1	Curva de retención de humedad.....	26
4.4	DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO.....	26
4.5	DETERMINACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO	27
4.5.1	<i>Determinación de las principales entradas al sistema</i>	27
a)	Precipitación	27
b)	Riego.....	27
4.5.2	<i>Determinación de las principales salidas del sistema</i>	27
a)	Determinación de la evapotranspiración de referencia.....	27
4.6	VARIABLES DE RESPUESTA	28
4.6.1	<i>Variables de crecimiento</i>	28
a)	Peso del material de poda	29
b)	Índice de Ravaz	29
4.6.2	<i>Determinación de la calidad del mosto</i>	29
4.6.3	<i>Variables de Rendimiento</i>	29
a)	Evaluación del crecimiento de bayas.....	29
b)	Peso de bayas por planta	30
c)	Peso de racimo por planta	30
4.6.4	<i>Variables de Productividad del agua</i>	30
4.6.5	<i>Función de producción</i>	30
4.7	ÍNDICE DE EFICIENCIA DEL USO DE AGUA.....	30
4.8	PROGRAMACIÓN DE RIEGO BASADA EN LA VALORACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DEL CONJUNTO SUELO - PLANTA - ATMÓSFERA.....	31
5.	RESULTADOS Y DISCUSION	33
5.1	EVALUACIÓN DEL CLIMA.....	33
5.2.	CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	38
5.2.1	<i>Infiltración de agua en el suelo</i>	43
5.3	CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO	49
5. 4	BALANCE HÍDRICO EN EL SUELO.....	53
5.5	VARIABLES DE CRECIMIENTO	61
5.6	VARIABLES DE RENDIMIENTO	63
5.7	VARIABLES DE LA CALIDAD DEL MOSTO.....	70

5.8 VARIABLES DE PRODUCTIVIDAD DEL AGUA	73
5.9 ÍNDICE DE EFICIENCIA DEL USO DE AGUA DE LA VID.....	77
5.10 PROGRAMACIÓN DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO.....	79
5.11 ESTRATEGIAS DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO	83
5.11.1 Incremento del intervalo entre riegos.....	83
5.11.2 Control de la vegetación de la cobertura del suelo.....	83
5.11.3 Uso de cobertura muerta en el suelo.....	84
5.11.4 Riego en periodos de menor demanda hídrica.....	84
5.11.5 Riego con déficit hídrico controlado.....	84
5.11.6 Riego parcial de la zona radicular.....	85
5.11.7 Quiebra de la dormancia del cultivo de uva.....	85
6. CONCLUSIONES	86
7. RECOMENDACIONES.....	89
8. LITERATURA CITADA	90
ANEXOS.....	96
ANEXO 1: DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DEL SUELO	96
ANEXO 2: ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL SUELO	101
ANEXO 3: ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA.....	103
ANEXO 4: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA	104

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción estimada de uva en Bolivia.	4
Tabla 2. Datos climáticos requeridos para el cálculo de la ETo por diferentes métodos.	12
Tabla 3. Resumen de datos climáticos registrados en la Estación Meteorológica “Porvenir” en las gestiones 2010-2011 y 2011-2012.....	33
Tabla 4. Análisis físico de los horizontes observados en la parcela de estudio.....	39
Tabla 5. Análisis químico del suelo (Cationes de cambio) del suelo de Porvenir	41
Tabla 6. Análisis químico del suelo (Aniones Intercambiables)	42
Tabla 7. Prueba de Infiltración con cilindros infiltrometros.....	43
Tabla 8. Valores de humedad en base a masa y volumen en función a la tensión del agua del suelo (Porvenir-Luribay).....	45
Tabla 9. Parámetros de ajuste de la curva de retención de agua del suelo.	46
Tabla 10. Resultados de análisis de calidad del agua en Porvenir.....	50
Tabla 11. Volumen total de agua aplicado al cultivo de vid en el periodo de producción 2010-2011. Porvenir - Luribay.....	54
Tabla 12. Volumen total de agua aplicado al cultivo de vid en el periodo de producción 2011-2012. Porvenir.....	55
Tabla 13. Laminas de riego aplicado en mm, en el cultivo de vid en la gestión 2010-2011. Porvenir – Luribay	56
Tabla 14. Laminas de riego aplicado en mm, en el cultivo de vid en la gestión 2011-2012. Porvenir - Luribay	57
Tabla 15. Fases fenológicas del cultivo de vid y duración de los periodos de las distintas fases según la FAO 56 y valores obtenidos en Porvenir	58
Tabla 16. Resumen de las variables de crecimiento y rendimiento del cultivo de vid	61
Tabla 17. Volúmenes de agua aplicada y producción total en vid.	73
Tabla 18. Productividad total y marginal para diferentes niveles de riego en el cultivo de vid, variedad Moscatel de Alejandría	75

Tabla 19. Relación entre volumen de agua y rendimiento de uva e Índice de Eficiencia de Uso del Agua, gestión agrícola 2010 - 2011.	77
Tabla 20. Relación entre volumen de agua y rendimiento de uva e Índice de Eficiencia de Uso del Agua, gestión agrícola 2011 - 2012.	78
Tabla 21. Requerimiento de riego del cultivo de uva por década.	80
Tabla 22. Lamina neta, consumos medios del cultivo, caudal y tiempo de riego.	82

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases fenológicas del cultivo de uva (www.blancoexitimo.wordpress.com)	5
Figura 2. Esquema de entradas y salidas dentro el balance hídrico	9
Figura 3. Imagen satelital de la parcela de estudio en la Comunidad de Porvenir (Google Earth).	19
Figura 4. Esquema de la metodología usada en campo.....	21
Figura 5. Esquema de distribución de las unidades experimentales en la parcela del viñedo (Porvenir)	22
Figura 6. Temperaturas máximas, medias y mínimas. Periodos: a) 2010-2011; b) 2011-2012 (Porvenir)	34
Figura 7. Precipitación pluvial mensual registrada en los periodos 2010-2011 y 2011-2012 (Porvenir)	35
Figura 8. Evapotranspiración de referencia registrada en los periodos 2010-2011 y 2011-2012 (Porvenir)	36
Figura 9. Humedad relativa aire registrado en los periodos 2010-2011 y 2011-2012 (Porvenir-Luribay)	36
Figura 10. Radiación solar, registrada en los periodos 2010-2011 y 2011-2012 (Porvenir-Luribay)	37
Figura 11. Velocidad del viento registrada en los periodos 2010-2011 y 2011-2012 (Porvenir-Luribay)	38
Figura 12. Descripción de la calicata realizada en el viñedo de la Comunidad Porvenir-Luribay.	38
Figura 13. Curva de velocidad de infiltración básica y lamina infiltrada (Porvenir-Luribay)	44
Figura 14. Curva de retención de agua en el suelo a una profundidad de 0 - 30 cm	47
Figura 15. Valores del contenido de agua en el suelo antes y después del riego (Gestión 2010-2011).	48
Figura 16. Valores del contenido de agua en el suelo antes y después del riego (Gestión 2011-2012).	49
Figura 17. Diagrama de estabilidad de suelos - combinación de CE y RAS, Aragues (2011). ...	51

Figura 18. Valores medios de Salinidad (CE) y Sodicidad (RAS) de calidad de aguas representados sobre el diagrama de estabilidad estructural (infiltración) de suelos Aragües (2011).	52
Figura 19. Evapotranspiración de referencia, precipitación y láminas de agua aplicadas por tratamiento (2010-2011).....	59
Figura 20. Evapotranspiración de referencia, precipitación y láminas de agua aplicadas por tratamiento (2011-2012).....	60
Figura 21. Comparación de valores obtenidos de dos gestiones del peso de material de poda (Porvenir)	62
Figura 22. Comparación de valores obtenidos de dos gestiones del Índice de Ravaz (Porvenir)	63
Figura 23. Comparación de los rendimientos del cultivo de las gestiones 2010-2011 y 2011-2012	64
Figura 24. Comparación de valores obtenidos de dos gestiones del número de racimos por planta	65
Figura 25. Comparación de valores obtenidos de dos gestiones Peso de racimos (Porvenir).....	67
Figura 26. Comparación de Peso de bayas obtenidos en las gestiones 2010-2011 y 2011-2012 (Porvenir)	68
Figura 27. Comparación del Diámetro de Bayas obtenidos en las gestiones 2010-2011 y 2011-2012	69
Figura 28. Comparación de la calidad del mosto de la producción de las gestiones 2010-2011 y 2011-2012.....	71
Figura 29. Función de Producción de la Vid var. Moscatel de Alejandría.....	73
Figura 30. Curvas de Productividad Total, Productividad Media y Productividad Marginal de la vid var. Moscatel de Alejandría en la Comunidad de Porvenir	76

RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como finalidad evaluar una lámina de agua aplicada en la zona productora de uva de mesa por medio del concepto de productividad del agua mediante la variación del porcentaje de ETo, considerando factores de rendimiento, como parámetro de análisis. Se implementaron 3 tratamientos, correspondientes a 100% (T1), 75% (T2) y 50% (T3) de la ETo (evapotranspiración de referencia) en las gestiones 2010-2011 y 2011-2012 para una parcela cultivada con vid variedad Moscatel de Alejandría en ubicada en el municipio de "Porvenir" del Municipio de Luribay del Departamento de La Paz, los cuales determinaron los niveles de agua óptimos para la aplicación de Riego Deficitario Controlado (RDC).

Con relación a las condiciones establecidas para el ensayo, se presentan los mejores resultados con la aplicación de una lamina de riego de $7423 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ calculada en base al 100% de la ETo, puesto que con este tratamiento se observó un rendimiento de 52 Mg ha^{-1} en la primera gestión y 61 Mg ha^{-1} con una lamina de $6778 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en la segunda gestión evaluada. Mediante las formulas establecidas para evaluar la productividad del agua, de igual manera se encontró que los mejores rendimientos de cultivo, en base a la eficiencia del uso de agua, se presentan en T2 en la primera gestión) y T3 en la segunda, ya que con estos tratamientos se obtienen $7,1 \text{ kg m}^{-3}$ y $9,5 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente.

Adicionalmente, se realizó el balance hídrico del suelo donde se observo que la etapa crítica, coincidiendo con la época seca, donde se debe aplicar riego al cultivo para igualar el agua que se pierde principalmente por evapotranspiración, es en la inicial, es decir entre los meses de septiembre y diciembre. Debido a que las precipitaciones se concentran principalmente entre finales de diciembre y hasta febrero, en esta etapa se realizo un mayor control de la humedad del suelo, con el fin de evitar que la misma superara la capacidad de campo y de esta manera evitar pérdidas de agua.

Palabras clave: Lámina de agua, riego deficitario controlado, eficiencia en el uso de agua, índice de productividad, balance hídrico.

SUMMARY

This thesis aims at evaluating a sheet of water applied in the production area of table grapes by means of the concept of water productivity by varying the percentage of ETo, considering performance factors, such as analysis parameter. Treatments were implemented 3, corresponding to 100% (T1), 75% (T2) and 50% (T3) of the ETO (evapotranspiration generated by reference) in the 2010-2011 and 2011-2012 efforts for a plot of land with vine variety Muscat of Alexandria in located in the municipality of " future" of the Municipality of Luribay of the Department of La Paz, which determined the levels of water to the optimal application of regulated deficit irrigation (DRC).

In relation to the conditions laid down for the test, give the best results with the application of a sheet of irrigation of 7423 m³ ha⁻¹ calculated based on the 100% ETo, since with this treatment was observed a performance of 52 Mg ha⁻¹ in the first management and 61 Mg ha⁻¹ with a challenging 6778 yard foil m³ ha⁻¹ in the second management evaluated. Using the formulas set out to assess the productivity of water, in the same way it was found that the best crop yields, on the basis of the water use efficiency, are presented in T2 in the first management) and T3 in the second, because these treatments are obtained 7.1 kg m⁻³ and 9.5 kg m⁻³, respectively.

In addition, there was the water balance in the soil where it was noted that the critical stage, coinciding with the dry season, where it should be applied to the crop irrigation to equalize the water that is lost primarily through evapotranspiration, is in the initial, i.e. between the months of September and December. Due to the rainfall is concentrated mainly in late December and until February, in this phase was conducted a greater control of the moisture of the soil, in order to avoid that the same will exceed the capacity of field and in this way prevent water loss.

Key Words: sheet of water, regulated deficit irrigation, efficiency in the use of water, productivity index, water balance.

1. INTRODUCCIÓN

La mala calidad de suelos y la escasez e irregularidad de lluvias, pocos recursos hídricos superficiales, así como vientos fuertes y frecuentes, sumado a ello, la poca disponibilidad de terrenos aptos para la agricultura, son condiciones desfavorables que limitan el potencial productivo de los cultivos y el bajo aprovechamiento de tierras agrícolas en las zonas áridas de los valles interandinos de Bolivia.

Aumentar la productividad del agua usada en la agricultura, en vez de adjudicar más agua, constituye el mayor potencial para mejorar la seguridad alimenticia y reducir la pobreza al costo ambiental más bajo (Rijsberman *et al.*, 2006, mencionados por Gonzales *et al.*, 2010). El conocimiento de las necesidades hídricas de los cultivos comprende una suma de información necesaria para planificar los métodos de riego, a fin de maximizar su eficiencia y el logro de mejores rendimientos.

Debido a que la agricultura por irrigación consume en la actualidad la mayor parte del suministro de agua de buena calidad (en una cantidad estimada entre el 60 y el 80 %), la búsqueda de nuevas formas de producir más alimentos con menos cantidad de agua ofrece una respuesta al problema de la escasez del agua. Según el KfW (2009), en Bolivia, la escasez de agua y el uso no sostenible de los recursos naturales son el obstáculo principal para el desarrollo económico en las zonas rurales.

En los valles interandinos de La Paz, la época de lluvias comienza entre los meses de diciembre a enero hasta los meses de febrero a marzo y muy ocasionalmente el mes de abril por consiguiente, la producción se limita a simplemente un ciclo de producción al año, la cual, muchas veces no es sostenido debido a la presencia de sequías y otros factores climatológicos, lo que se expresa en los bajos ingresos económicos para los agricultores.

En el municipio de Luribay, el cultivo de uva ocupa un lugar importante entre los frutales producidos en los valles, pese a la escasez del recurso hídrico que se ha ido percibiendo

en los últimos años. Esta situación plantea la urgente necesidad de identificar y adoptar estrategias efectivas para el manejo del agua de riego, a través de un plan de uso deficitario, con lo cual se podría incrementar la productividad de este recurso.

La necesidad de elevar el rendimiento y la calidad de la uva ha demandado un aumento en las dosis de los principales insumos que limitan la producción: fertilización y agua. El manejo deficiente de estos insumos está ligado al deterioro del recurso agua y al aumento en los costos de producción. Por consiguiente, una de las técnicas fundamentales para que el agua de riego sea manejada eficientemente, es buscar la máxima productividad del agua con el mínimo impacto ambiental y con ello realizar una programación de riegos, basada en indicadores de estrés sólidamente fundamentados.

El término de productividad agrícola está intrínsecamente relacionado con el de productividad del agua, que no es otra cosa que la relación entre el volumen de alimentos producidos con respecto al agua utilizada. La productividad del agua, expresado en términos productivos (kg m^{-3}) o económicos ($\text{\$us m}^{-3}$) es un indicador agronómico importante en áreas con recursos hídricos limitados y permite a los gestores analizar, desde el punto de vista agronómico, la eficiencia de uso de agua para describir cuánta agua es efectivamente entregada y gastada por los cultivos, o analizar desde el punto de vista económico, cómo el valor económico del agua de riego puede ser maximizado.

Por todo lo anteriormente expuesto se desprende que, bajo ciertas y determinadas condiciones, es necesario cuantificar la demanda del recurso hídrico, con el fin de mejorar la eficiencia del uso de agua lo que implica, cualquier reducción o prevención de pérdida del agua que sea de beneficio para los agricultores de la comunidad de El Porvenir, Municipio de Luribay.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

El objetivo del presente trabajo es evaluar la productividad del agua (WP) bajo condiciones de riego deficitario en el cultivo de vid (*Vitis vinífera*) Var. Moscatel de Alejandría, utilizando datos de experimentos realizados en dos gestiones en la Comunidad de El Porvenir en el Municipio de Luribay.

.

2.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar una lámina de riego óptimo, que maximice la producción del cultivo.
- ✓ Evaluar la dinámica del consumo de agua del cultivo de vid mediante balances hídricos semanales y plantear estrategias de riego
- ✓ Evaluar la productividad del agua en el cultivo de vid en base a funciones de producción de rendimiento/suministro de riego.
- ✓ Evaluar la capacidad de retención e infiltración del agua en el suelo

3. REVISION BIBLIOGRÁFICA

3.1. Producción de Uva en Bolivia

El cultivo de uva en Bolivia es desarrollada con enfoque multipropósito y destinos diferentes, es decir, uva de mesa, por un lado, y elaboración de vinos y singanis por otro. Este cultivo es desarrollado entre 1700 y 2400 metros sobre el nivel del mar, a esta altura la uva gana riqueza aromática debido a una exposición más intensa a los rayos ultravioletas que en otras regiones del planeta (FDTA Valles).

Según la Fundación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario (FDTA Valles), Tarija es la zona más apta de Bolivia para el cultivo de vid teniendo un rendimiento de 6,80 TM ha⁻¹, seguido por Chuquisaca con 5,81TM ha⁻¹. La producción estimada de uva en nuestro país es de 21131 TM ha⁻¹, los valles de La Paz, producen aproximadamente 911 TM en una superficie de 220 ha (Tabla 1).

Tabla 1. Producción estimada de uva en Bolivia.

Departamento	Superficie		Rendimiento	Producción total		
	ha	%	qq ha ⁻¹	qq	Mg	%
Valles de Tarija	1996	66	170	339320	15609	73,87
Valles de Chuquisaca	400	13	125	50000	2300	10,88
Valles de La Paz	220	7	90	19800	911	4,31
Valles de Santa Cruz	160	5	155	24800	1141	5,40
Valles de Cochabamba	100	3	120	12000	552	2,61
Valles de Potosí	168	6	80	13440	618	2,92
TOTAL	3044	100	150,91	459370	21131	100,00

1 qq = 46 kg

Fuente: CENAVIT Y FDTA - Valles, mencionados por Paniagua (2002).

Tomando en consideración el total de uva producida en los Valles de Tarija y Chuquisaca, aproximadamente un 39% se destina para el consumo en fresco y el 61% restante se utiliza como materia prima para la elaboración de vinos y singanis (Paniagua, 2002).

3.2. Aspectos generales del cultivo de vid

La vid, es una planta leñosa trepadora, enredadera con zarcillos caulinares que puede llegar hasta una altura de 30 m. Sus hojas son compuestas y palmatinervias. Inflorescencia en racimo compuesto o cimosas. El fruto es una baya. El crecimiento vegetativo de la vid se inicia con la brotación de las yemas formadas durante el ciclo de crecimiento anterior, dando origen a brotes que contienen yemas vegetativas, reproductivas y sarmientos (ver Figura 1).

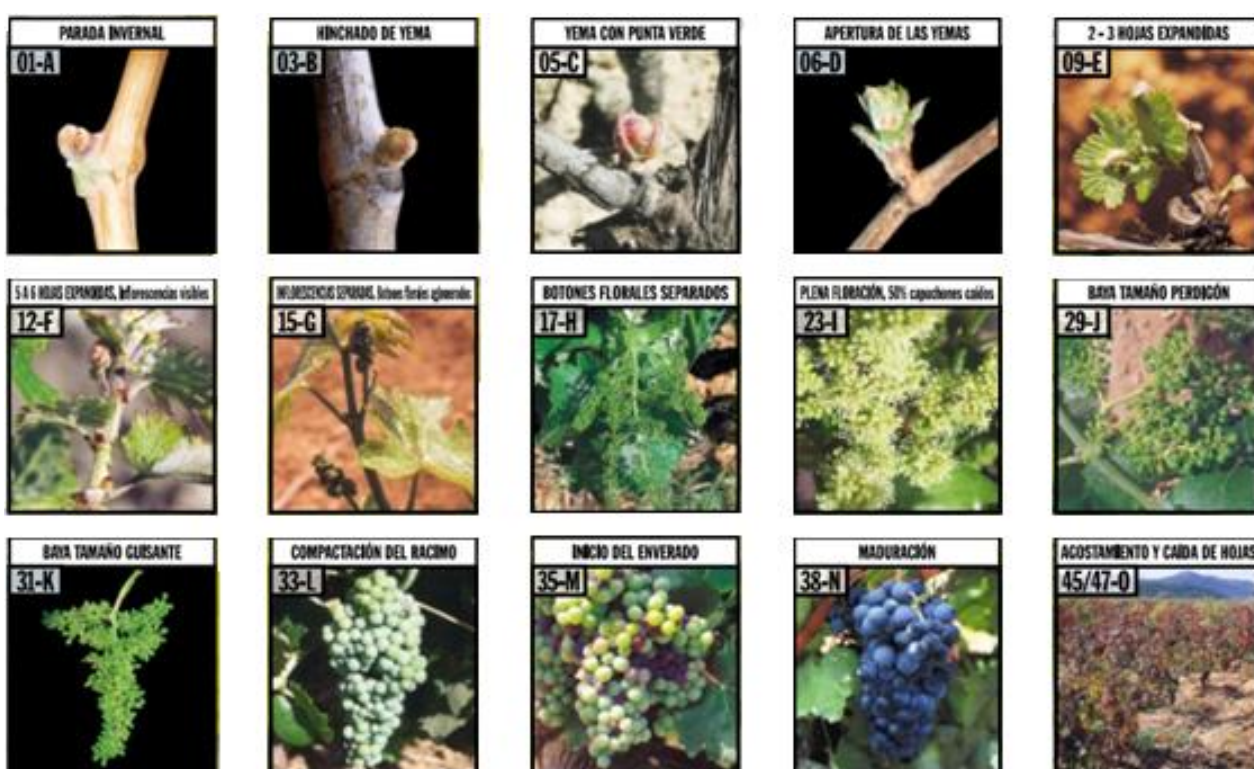


Figura 1. Fases fenológicas del cultivo de uva (www.blancolexitimo.wordpress.com)

El desarrollo de la superficie foliar es bastante rápida. Trabajos realizados por Suckel (2001), mencionado por Ferreyra *et al.* (2010), determinan que el momento de la cuaja el índice de área foliar es al 60% del área foliar máxima. La duración total del periodo vegetativo varía notablemente entre variedades, el periodo entre “punta verde” y la cosecha está entre los 160 a 180 días para la variedad Moscatel de Alejandría.

3.2. Demandas de agua del cultivo de vid

La disponibilidad de agua constituye uno de los principales factores limitantes de la vegetación y de la producción en la región de los valles interandinos del Departamento de La Paz. La pluviometría se concentra en periodos cortos (meses de noviembre a marzo) y la demanda evapotranspirativa es elevada a causa de las altas temperaturas en el periodo donde se registran las máximas temperaturas. Según Koundouras *et al.*, 1999, mencionado por Pérez, 2002, la vid es una planta que se puede desarrollar en condiciones de baja disponibilidad de agua, ya que tiene una gran capacidad de adaptación. Dicha adaptación está ligada a elementos anatómicos y morfológicos, como la profundidad de las raíces y ciertos procesos fisiológicos que permiten una adaptación a las condiciones de sequía, tales como la regulación estomática.

El estrés hídrico es uno de los parámetros más delicados e importantes a la hora de suplir los requerimientos hídricos de las plantas, de ahí que las consecuencias sobre los procesos vitales de desarrollo de la plantas casi siempre son nocivos y se vuelven definitivos cuando se presenta la marchitez visible, la cual se traduce en consecuencias graves como la suspensión de la tasa de emisión foliar, reducción en el crecimiento de la planta, cambios temporales en el metabolismo y efectos irreversibles en la producción, que generan una fruta de baja calidad y con sus componentes físicos y químicos alterados (Martín y De Juan Valero, 1993).

Para lograr rendimientos altos y estables, con la máxima calidad del producto cosechable, se requiere satisfacer la máxima evapotranspiración del cultivo. Según Ferreyra (2010), las necesidades reales de riego o requerimientos brutos de agua de la uva de mesa, corresponden a la necesidad neta afectada por la eficiencia del método de riego utilizado. Fonseca (2000), menciona que el periodo más sensible al déficit hídrico en el cultivo de uva va del inicio del crecimiento de los brotes a la floración. Los principales efectos que provoca el estrés hídrico en función del momento en que se producen son:

Brotación / Floración: en este periodo no es normal que se produzca déficit debido a la escasa demanda hídrica que existe pero en caso de que se produjesen el síntoma más común es la brotación desigual.

Floración / Cuajado: el déficit hídrico en este periodo pueden reducir la cosecha potencial de la siguiente estación mediante la reducción del número de racimos.

Cuajado / Envero: es importante que en esta fase no exista déficit hídrico, ya que si existe reducirá considerablemente la cosecha y el área foliar. Si se reduce el área foliar provoca una disminución en el desarrollo y calidad de las bayas así como en la aclimatación de la cepa lo que provoca un aumento en la susceptibilidad a las heladas otoñales y bajas temperaturas del invierno.

Envero / Vendimia: Déficit hídrico en esta fase pueden provocar el temprano envejecimiento de las hojas inferiores seguido de su caída. Esta pérdida de masa foliar provocará quemaduras solares en las bayas. Es muy importante en este periodo no dar riegos tardíos porque producen efectos negativos como retrasos en la maduración. Además muchos autores sostienen la necesidad de que durante este periodo se produzca un ligero déficit hídrico para la correcta maduración de las bayas.

Vendimia / Caída de hojas: es difícil que pueda producirse déficit hídrico. En caso de que aparezca puede provocar la reducción del crecimiento radicular.

También, Coombe y McCarthy (2000) mencionados por Gurovich (2004) *et. al*, indican que el estrés hídrico reduce el crecimiento de las bayas, sin que sus efectos alteren la forma de la curva de crecimiento, aunque afecta significativamente la duración de cada uno de los tres estadios de crecimiento del fruto.

Cuando la temperatura es muy elevada y el aire muy seco, la absorción de agua por la raíz es insuficiente y los estomas se cierran para economizar agua, pero al mismo tiempo se impide la entrada de gas carbónico en la hoja, deteniendo la producción de azúcares,

que se corresponde de forma aproximada con la materia seca producida. En la vid esta relación entre biomasa y agua evaporada es del orden de 500, y se denomina coeficiente de transpiración, lo que quiere decir que la vid necesita transpirar 500 litros de agua para producir 1 kilogramo de materia seca.

En investigaciones realizadas por Castro, *et. al* (2008), mencionado por Guzmán (2010) se evaluó el método más apropiado para determinar los niveles de agua para aplicar al suelo en un cultivo de calabaza donde destaco lisímetro, el mayor inconveniente es su alto costo y dificultad de uso en ciertos cultivos. El método del balance hídrico es el segundo más efectivo ya que genera mayor frecuencia de riego con la misma lámina de agua aplicada total, debido a la facilidad para determinar la evapotranspiración de referencia con herramientas como estaciones meteorológicas. Hulgin, mencionado por Gutiérrez (s/f), define el balance hídrico de la viña como la diferencia entre las precipitaciones y el valor del límite máximo de evapotranspiración. Este último término se expresa como el 60% de la evapotranspiración de referencia.

3.3. Balance Hídrico

La determinación de las necesidades de agua de los cultivos es el paso previo para establecer los volúmenes de agua que será necesario aportar con el riego, estas necesidades se obtienen por medio de la realización del balance hídrico. Por medio de la aplicación del principio de conservación de la masa, se pueden evaluar las entradas y salidas de agua en un volumen de control definido, estableciendo los excesos o déficits que deben tratarse mediante drenaje o riego respectivamente y así mantener el sistema de producción agrícola en equilibrio hídrico (González, 1992).

De todos los elementos meteorológicos, el que presenta más variabilidad interanual y que sin duda ejerce mayor impacto en la agricultura de secano es la precipitación u oferta de agua. De la interacción entre la oferta de agua, su infiltración y retención en el suelo y la demanda de agua constituida por los elementos meteorológicos que producen la evaporación directa desde el suelo y la transpiración a través de los estomas de las hojas

de las plantas (constituyendo la evapotranspiración), resulta lo que llamamos reserva o almacenaje de agua en el suelo en un momento dado.

El volumen de control analizado con fines agrícolas puede representarse gráficamente de la siguiente manera.

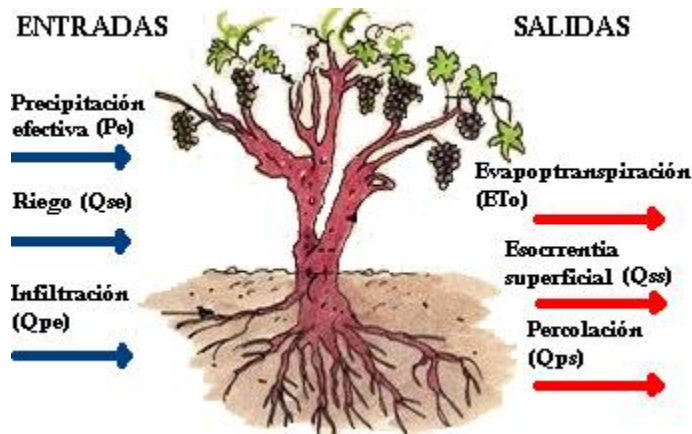


Figura 2. Esquema de entradas y salidas dentro el balance hídrico

En la Figura 2, se puede observar el esquema del modelo de Balance Hídrico para el suelo considerando el tipo de suelo, la precipitación efectiva, la demanda potencial de agua de la atmósfera y la transpiración de la vegetación. Con la definición de un volumen de control sobre el sistema, se puede escribir la ecuación de continuidad de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} & (\text{Entradas}) - (\text{salidas}) = \text{Cambio en el almacenamiento} \\ & (P + Q_{se} + Q_{pe}) - (E_{To} + Q_{ss} + Q_{ps}) = \text{Demanda Neta} \quad (1) \end{aligned}$$

Donde:

- Pe = Precipitación efectiva
- Qse = Caudal superficial de entrada
- Qpe = Caudal subterráneo entrante
- ETo = Evapotranspiración de referencia
- Qss = Caudal superficial saliente
- Qps = Caudal subterráneo saliente

La ETo es la demanda evaporativa de la atmosfera de una región en particular a través del año. Durante la primera fase de desarrollo de la vid, desde yema hinchada hasta punta verde, los requerimientos netos por evapotranspiración son cercanos a un 20% de la ETo y corresponde casi exclusivamente a la evaporación desde el suelo, luego de esta fase (después de 70 a 75 días), la demanda se incrementa (Ferreyra *et. al*, 2010). En resumen, estos mismos autores señalan que la cantidad de agua requerida por la uva varia, siendo así que, en la fase de brotación sus necesidades son mínimas (1,5% del total), lo mismo que durante la floración, desde la floración hasta la cuaja consume el 10%, hasta el estado de pinta 43% y por ultimo de pinta a madurez cerca del 44% de la demanda total. Otro factor importante a considerar, es el crecimiento de las raíces que comienza después de la brotación por lo que el suelo debe contar con una humedad suficiente, de tal manera de garantizar la difusión de oxígeno.

Según el periodo de tiempo en el que se maneje el balance hídrico, las condiciones hidrológicas y climatológicas de la zona, así como las condiciones físicas de los suelos, es posible eliminar algunos términos de la ecuación de continuidad. Por ejemplo, los aportes de agua de ascenso capilar (Ac) a la humedad de la zona de raíces puede ser considerada nula si el nivel freático está por debajo de la superficie del suelo en 7 metros para suelos pesados, y más de 3 m para suelos livianos (González, 1992).

La vid se cultiva en regiones áridas y semiáridas y requiere de riego, para garantizar una buena vegetación y producción, porque esta planta es muy exigente de riego especialmente durante la primera fase de desarrollo vegetativo hasta el cuajado del fruto. El déficit hídrico provoca reducciones en el crecimiento de la vid, tanto en los órganos vegetativos (raíz, tronco) como en los reproductivos (bayas y racimos), según el estado fenológico en el que se encuentre, lo que se traduce en una disminución de la producción.

Las características de retención de agua por parte del suelo dependen de su textura, estructura, contenido en materia orgánica, etc. Así como de su estructura de macroporos y microporos. En la práctica, la retención de agua por parte de la

estructura, macroporos y microporos es muy difícil de medir, por lo que se toma como parámetro de referencia la textura del suelo.

3.3.1. Principales parámetros del balance hídrico

3.3.1.1 Evapotranspiración

Una de las formas de determinar la cantidad de agua que necesita una planta está determinada por la evapotranspiración. Está en función del cultivo, del nivel de humedad y del suelo. Está condicionada por el clima y puede ser estimada mediante parámetros climáticos, dentro de los cuales los más importantes son la radiación incidente disponible, temperatura ambiente y humedad relativa.

El determinante más importante en el balance hídrico, y principal indicador de las demandas de agua de los cultivos, es la evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar definido como el resultado de la multiplicación del coeficiente de cultivo k_c , por la evapotranspiración de referencia para la zona (E_{To}), es decir:

$$E_{Tc} = K_c * E_{To} \quad (2)$$

La evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{To}), es la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua. Según Allen et, al., 2006, este concepto se introduce para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo. Puesto que el agua no es una restricción en la superficie de evapotranspiración de referencia, los factores del suelo no tienen ningún efecto sobre ET.

Los mismos autores indican que, con este concepto, se elimina la necesidad de definir un nivel de ET para cada cultivo y periodo de crecimiento. Esto es favorable al

momento de realizar estudios en condiciones de campo que son diferentes de las condiciones estándar, donde la formula 2 trabaja con una mayor eficiencia.

Con respecto a la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET_o), existen numerosas metodologías para su cálculo, de las cuales se puede mencionar el método de Penman Monteith (Allen et al., 2006), el método de Blaney y Criddle y el tanque evaporímetro tipo A. En el Tabla 2, se presenta de forma general los requerimientos de información por cada uno de los métodos mencionados.

Tabla 2. Datos climáticos requeridos para el cálculo de la ET_o por diferentes métodos.

DATO CLIMATICO	METODO			
	Blaney Criddle	Radiación	Penman	Tanque A
Temperatura	X	X	X	
Humedad Relativa	X	X	X	
Viento	X	X	X	
Insolación	X	X	X	
Radiación		X	X	X
Evaporación				X
Condiciones locales	X	X	X	X

Como se puede observar en el cuadro anterior, los únicos factores que afectan ET_o son los parámetros climáticos, por consiguiente puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. La ET_o expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo (Allen *et, al.* 2006).

El método FAO Penman-Monteith es recomendado tanto en climas áridos como húmedos, para la determinación de ET_o por su relativa precisión y validez de aproximación, el cual requiere la utilización de parámetros climáticos tales como la radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento. De la misma manera se han desarrollado procedimientos para la estimación de los parámetros climáticos que no tuvieran registros en una determinada zona.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (3)$$

donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

R_n = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)

R_a = radiación extraterrestre (mm día⁻¹)

G = flujo de calor del suelo (MJ m⁻² día⁻¹)

T = temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u_2 = velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)

e_s = presión de vapor de saturación (kPa)

e_a = presión real de vapor (kPa)

$e_s - e_a$ = déficit de presión de vapor (kPa)

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor (kPa°C⁻¹)

γ = constante psicométrica (kPa°C⁻¹)

Allen, 2006, indica que la evapotranspiración de referencia (ET_o) provee un estándar de comparación mediante el cual se puede comparar la evapotranspiración en diversos periodos del año o en otras regiones y se puede relacionar la evapotranspiración de otros cultivos.

Trabajos realizados por Ortega-Farías y Cuenca (2000) proponen utilizar el modelo Penman-Monteith para estimar la Evapotranspiración Real de manera directa, para ello se requiere de mediciones simultáneas de temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar, las mismas que pueden ser registradas a través del uso de estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) que son más baratas y fáciles de mantener en comparación con los métodos micrometeorológicos y de balance hídrico. Por otro lado Castillo señala que el método de Penman Monteith puede ser una buena herramienta para estimar la ET_r sin necesidad de utilizar coeficientes de cultivo (K_c), convirtiéndose en una ventaja para la estimación de la evapotranspiración de la vid.

3.3.1.2 Lámina de agua proporcionada por precipitación.

Los registros de precipitación se obtienen mediante la instalación en campo de pluviómetros simples o en estaciones meteorológicas, cerca de las zonas de cultivo y su lectura se realizará a nivel diario, a la misma hora que se registra la evaporación o mediante la información provista por las estaciones meteorológicas instaladas. La precipitación efectiva, se deduce de la precipitación registrada en función a un valor de escurrimiento superficial.

3.3.1.3 Lámina de agua proporcionada mediante riego.

Para la planificación de sistemas de riego eficientes, es posible analizar el efecto del suministro de agua sobre la producción y el rendimiento de los cultivos. La relación de agua aplicada y el volumen producido de fruto puede ser un indicador del beneficio del uso de los sistemas de riego en el cultivo.

Las relaciones agua- suelo-planta se pueden ver afectadas por un gran número de condiciones que pueden generar una función muy difícil de manejar, sin embargo, en la práctica se deben reducir a un número manejable de factores que pueden tener un efecto significativo sobre el cultivo y que se puedan medir en campo.

Con las relaciones de producción que se miden en campo, es posible planificar, diseñar, y aumentar la eficiencia de sistemas de riego, teniendo en cuenta el efecto de distintos regímenes de agua sobre la producción de los cultivos, los cuales son manipulables dependiendo del control que se tenga sobre el sistema.

3.4 Riego Deficitario Controlado

Según Intrigliolo (2004), el riego es una técnica de cultivo con la que se pretenden cubrir las necesidades hídricas de la planta a fin de evitar situaciones de estrés hídrico, incrementando de esta manera, la biomasa producida y en muchos casos la cosecha.

Actualmente, el agua es un recurso natural escaso y no fácilmente renovable y dado que la agricultura consume cerca del 87% de los recursos hídricos en todo el mundo (FAO, 2003), podría no justificarse este consumo, aún cuando fuera posible, proporcionar a la plantación toda el agua requerida.

El sistema de riego más utilizado en nuestro país, especialmente en los valles interandinos, es el riego por superficie, principalmente porque hasta hace un tiempo el agua no era un factor limitante y este método llegaba a ser muy económico. Debido a que en la actualidad, el recurso hídrico se ha ido convirtiendo en un recurso escaso, se ha visto la necesidad de buscar alternativas para hacer un uso mucho más eficiente de este líquido, para ello se han ido investigando estrategias tales como el Riego Deficitario Controlado (RDC) el cual está fundamentado en Reducir el aporte de agua en aquellos períodos fenológicos en los que un déficit hídrico controlado no afecte sensiblemente la producción ni la calidad de la cosecha.

El RDC es una estrategia de aplicación de agua que se basa en la idea de reducir los aportes hídricos en aquellos periodos fenológicos en los que un déficit hídrico controlado no afecta sensiblemente a la producción y calidad de la cosecha y de cubrir plenamente la demanda de la planta durante el resto del ciclo de cultivo.

Fabeiro y López (2005), mencionados por Ferreira *et al.*, 2010, indican que el RDC se debe aplicar conociendo el efecto que tiene sobre la rentabilidad del cultivo, de forma que esta se mantenga o mejore. Para ello se deben conocer índices para controlar el estado hídrico de la planta de manera de llevar a cabo de forma correcta la utilización de esta estrategia.

Resulta también conveniente evaluar el factor suelo de cara a la aplicación de técnicas de RDC. Chalmers (1990), mencionado por Sacristán Beltri (2008), indica que suelos poco profundos con baja capacidad de retención de agua resultan convenientes, así como volúmenes reducidos de suelo humectado, ya que permite una alta concentración de raíces. En estas condiciones descritas se permite tanto el agotamiento de agua como la

recarga rápida y precisa. Por otro lado, Girona (1996), indica que, entre los factores externos el suelo es determinante en los resultados que se obtienen al aplicar estrategias de RDC en un frutal. En este sentido, señala que en suelos poco profundos con una mínima capacidad de retención de agua, el efecto del RDC se manifiesta muy marcadamente, ya que éstos permiten imponer rápidamente los tratamientos de restricción y recuperación, evitando así dañar ciertas funciones de la planta.

Según Saavedra (2000), el clima es otro factor determinante en la factibilidad de aplicar estrategias de RDC, la cual evidentemente requiere de la ausencia de precipitaciones importantes durante el período de restricción hídrica, ya que éstas impedirían aplicar déficit en estos períodos.

3.5 Productividad del agua

Para adquirir mayores rendimientos en los cultivos, es necesario cuantificar el valor total de insumo aplicado e identificar la relación existente con el producto esperado. En este sentido se debe tener en cuenta la cantidad de insumos utilizados, así como el consumo de agua para la obtención de frutos de calidad. Es por esto que se introduce el concepto de “productividad del agua” que se define como un índice de evaluación de la productividad en relación con el agua aplicada por medio de aguas subterráneas, precipitación o riego, que no es otra cosa más que, la relación entre el volumen de alimentos producidos con respecto al agua utilizada. Para conocer la función de productividad del agua, se deben tener en cuenta diversos parámetros que influyen directamente en el cultivo, como variedad de planta, el tipo de suelo a manejar, condiciones climáticas y la disponibilidad del agua (Kijne, J.W *et al.*, 2003, mencionados por Guzman, 2010).

La productividad del agua en los cultivos (WP) se define como la cosecha producida por unidad de agua consumida en la producción (Mg m^{-3} o kg m^{-3}). El numerador puede ser expresado en términos de rendimiento del cultivo, mientras que en el denominador puede usarse la transpiración, la evapotranspiración, el agua aplicada o agua total entre

otros (Stewart *et al.*, 1977; Molden, 1997; Dehghanisanij *et. al*, 2009, mencionados por Gonzales *et. al*, 2010).

Las definiciones de WP mas comunes son las siguientes:

$$WP_I = (\text{kg} * \text{m}^{-3}) = R (\text{kg}) * I (\text{m}^{-3}) \quad (4)$$

$$WP_T = (\text{kg} * \text{m}^{-3}) = R (\text{kg}) * T (\text{m}^{-3}) \quad (5)$$

donde:

WP_I la productividad del agua aplicada por riego (4) y

WP_T es la productividad del agua total (agua aplicada más precipitaciones).

R es el rendimiento ($\text{kg} * \text{ha}^{-1}$)

I es el volumen de agua aplicada (m^{-3})

T es el volumen total de agua aplicada (m^{-3}/ha)

3.5.1 Funciones de producción

Según Mojarro (2004), mencionado por López *et. al.* (s/f), el propósito del manejo del agua de riego es obtener rendimientos máximos, particularmente cuando ésta es escasa. El concepto de función de producción se basa en la teoría de que el rendimiento de los cultivos es afectado por las variaciones del régimen de humedad en el suelo durante su desarrollo. Los cambios en el régimen de humedad del suelo durante el desarrollo de los cultivos, producen también cambios en el rendimiento, sobre todo si éste se mide como fruto y no como la materia verde de la planta.

Troncoso (2001) señala que la producción es un proceso de transformación de factores en productos y una función de producción es una representación matemática de la relación física que existe entre los distintos factores de producción, y el o los productos obtenidos en este proceso. En términos generales, una función de producción puede conceptualizarse como:

$$Y = f(X_1 \dots X_g // X_{g+1} \dots X_h) \quad (6)$$

donde las variables X_1 a X_g designan a factores de producción variables, X_{g+1} a X_h a factores fijos en un nivel conocido, e Y es la cantidad de producción obtenida a través del proceso de transformación de estos factores en producto.

Como el agua que se pierde a través de evapotranspiración no vuelve a estar disponible para su reutilización en otras aplicaciones, se requiere aplicación de agua ya sea por medio de la precipitación o bien por suministro de riego. En este ámbito se debe conocer cuál es la lámina óptima para que el cultivo genere el mayor rendimiento, para así realizar una utilización del recurso de la manera más productiva posible.

3.5.1.1 Etapas de la función de producción simple

Etapa I, Rendimientos Crecientes: Se inicia en el punto del Óptimo Técnico. Óptimo Técnico: Es aquella combinación de insumo variable e insumo fijo que hacen constante o fijo el producto medio.

Etapa II, Rendimientos Decrecientes: Se inicia en el Máximo Técnico: En esta etapa la curva de la Productividad media (PMe) es decreciente, pero no llega a ser cero. Esta es la etapa racional de producción.

Etapa III, Rendimientos Negativos: Comienza en el punto del Máximo Técnico y finaliza cuando la Productividad Total (PT) y la Productividad marginal (PMg) se hacen igual a cero.

4. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Localización

La investigación se desarrolló en una propiedad privada dedicada a la producción de uva de mesa y elaboración de vinos y singanis, ubicada en la Comunidad de El Porvenir del Municipio de Luribay primera sección y capital de La Provincia Loayza, que se encuentra en un rango de altura que va de 2400 a 2900 m.s.n.m. Dicha propiedad cuenta con una parcela de uva en producción que se encuentra a una altura de 2829 m.s.n.m. ubicado a $17^{\circ} 01'48''$ de Latitud Sur y $67^{\circ} 33'41''$ de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich (Figura 3).



Figura 3. Imagen satelital de la parcela de estudio en la Comunidad de Porvenir (Google Earth).

Por los rangos altitudinales y las características fisiográficas observadas en el Municipio de Luribay, se observan dos pisos ecológicos claramente definidos: El valle de Luribay y la Zona altiplánica. Según CIASER-GEOBOL, Luribay, climáticamente se encuentra en la clasificación DB´ 3 con débil o ningún excedente de agua, con una concentración

térmica de verano. Con un índice hídrico de 40 a 20 y una evaporación anual de 855 a 997 mm.

Los desniveles topográficos en la zona tienen influencia en el dato diario de temperatura. Durante el día, el valle es más caliente que las laderas y los cerros, pero en la noche se produce el efecto inverso, tanto el fondo del valle como los cerros altos presentan temperaturas más bajas que las laderas, pues el aire frío tiende a acumularse en el fondo del valle.

4.2 Metodología

El estudio se efectuó, evaluando la influencia de Riego Deficitario Controlado (RDC) mediante la aplicación de láminas de riego, en un diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA), con tres tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos fueron: El tratamiento 1 (T1) regado con el 100%, de la ETo; Tratamiento 2 (T2) 75% de la ETo y Tratamiento 3 (T3) 50% de la ETo. La evapotranspiración de referencia (ETo), fue estimada por el método de FAO Penman Monteith (descrita en la ecuación 3). Para el cálculo de la ETo, se instaló una estación meteorológica automática cerca a la parcela de estudio, la cual registraba datos climáticos de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar, cada 30 minutos.

La plantación tiene una edad aproximada de 40 años. Las viñas están plantadas a una distancia de 1 metro por 1 metro. El riego es localizado y realizado de manera manual. La parcela de ensayo tiene las siguientes dimensiones: 10 metros de ancho por 19 metros de largo (190 m²), la misma que fue dividida en 3 bloques, subdivididos esto a su vez en 3 unidades experimentales. Cada unidad experimental se replanteo y estableció en una dimensión de 3 metros de ancho y 15 metros de largo, separadas estas por pasillos de 1 metro entre tratamientos y 1 metro entre bloques, logrando así, un área individual de 15 m² por cada unidad experimental.

En la siguiente figura se observa el diseño metodológico implementado en esta investigación

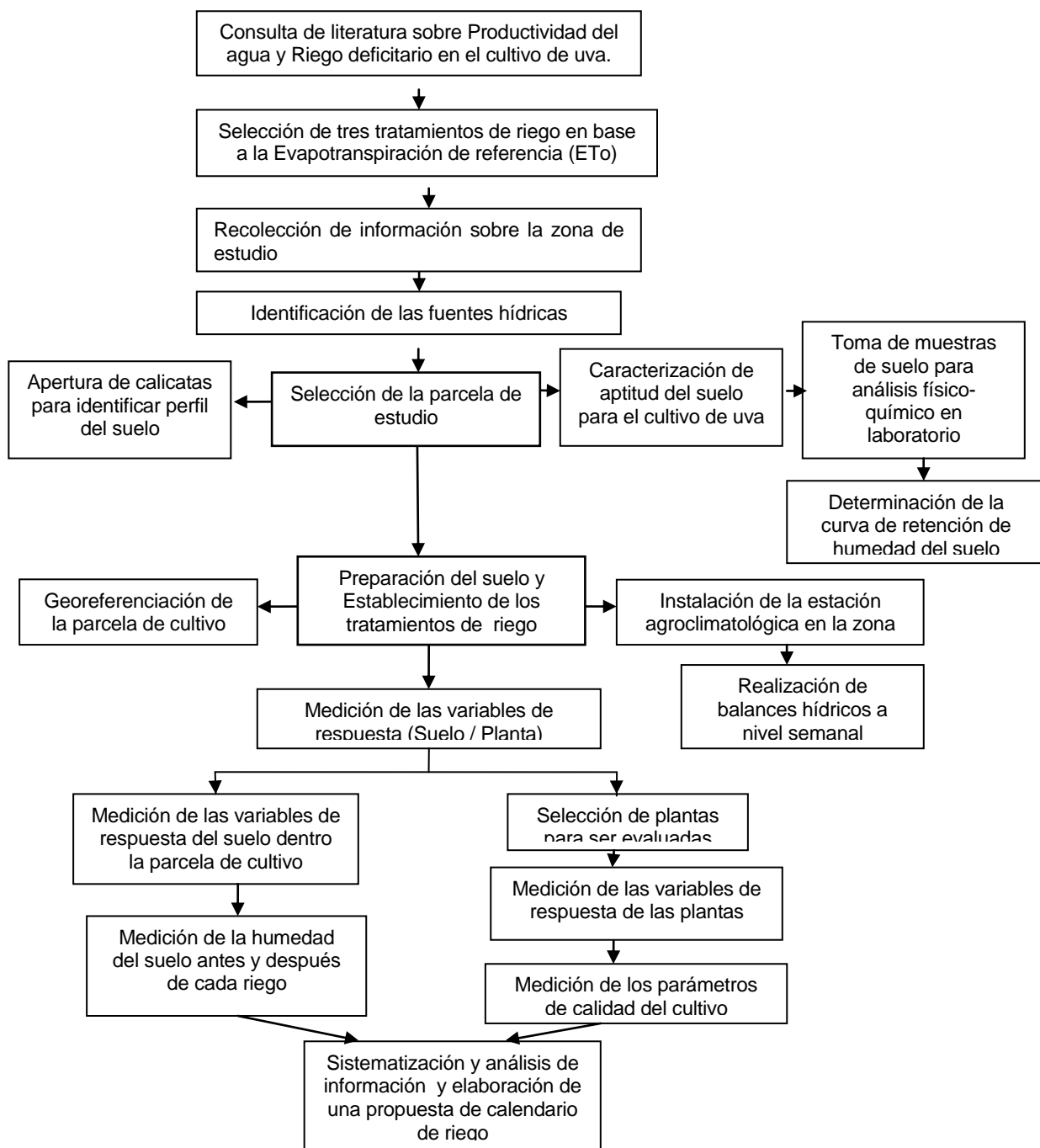


Figura 4. Esquema de la metodología usada en campo

La distribución de las unidades experimentales esta descrita en la siguiente figura:

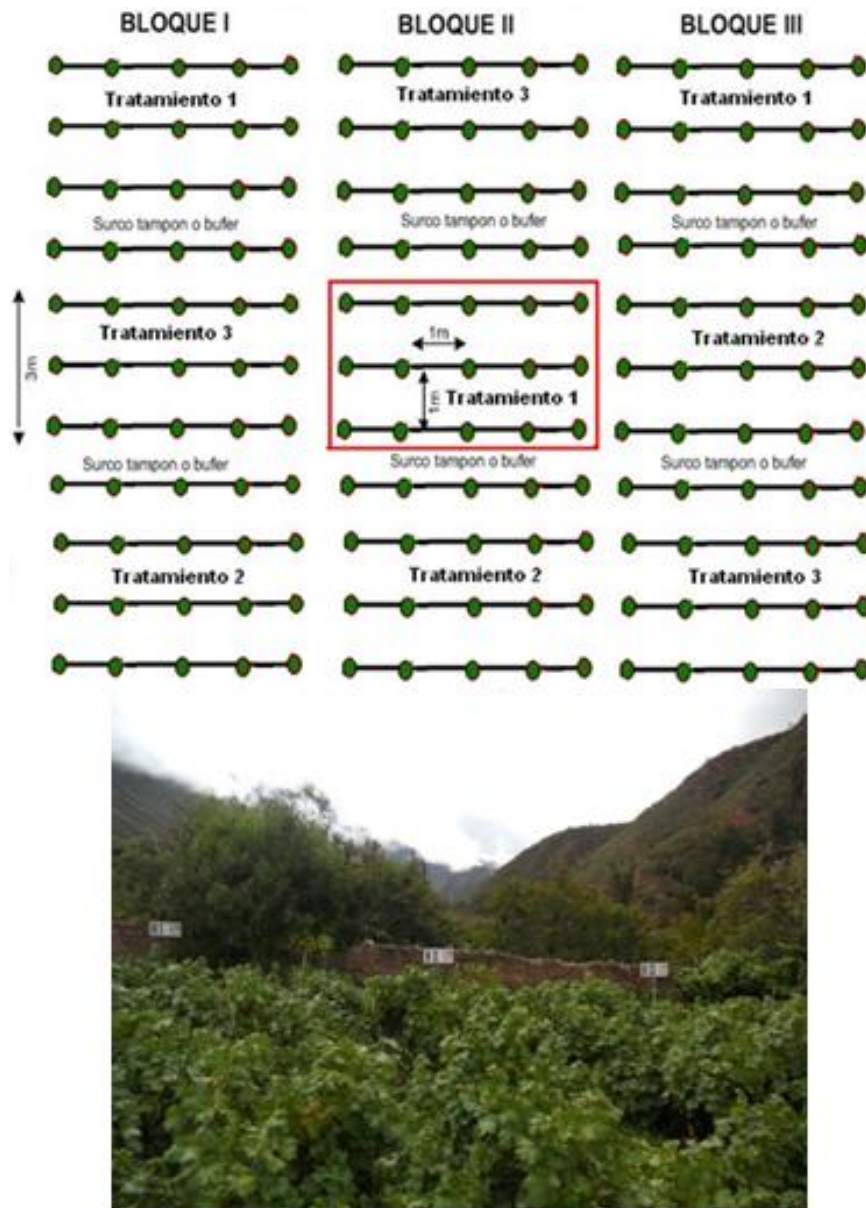


Figura 5. Esquema de distribución de las unidades experimentales en la parcela del viñedo (Porvenir)

4.2.1 Selección de plantas

Debido a la diversidad de variedades de uva producidas en la propiedad en estudio, se procedió a seleccionar una parcela con la variedad de vid Moscatel de Alejandría, con el fin de evaluar tanto los parámetros fisiológicos como los de producción.

4.2.2 Labores culturales

La primera poda de la gestión 2010-2011, se realizó durante el abonado de la parcela, coincidiendo con el receso invernal del viñedo en el mes de septiembre. La poda de la gestión 2011-2012, fue realizada en el mes de octubre. El tipo de poda fue la poda de fructificación (poda larga mojada, dejando dos yemas vistas), que tiene por finalidad mantener o regular el equilibrio entre el desarrollo vegetativo y la producción de fruta.

El desniete de la primera gestión se efectuó en el mes de noviembre y en la segunda gestión esta actividad fue realizada a mediados del mes de diciembre, eliminando los nietos o feminelas que nacen en las axilas de las hojas de los pámpanos en desarrollo, este trabajo se realizó en todo el pámpano de la uva.

El deshoje del periodo 2010-2011 se efectuó 3 meses después de la brotación, y la siguiente gestión fue realizando paralelamente al desniete, quitando las hojas basales, esta práctica se realizó con el fin de quitar las hojas viejas que no realizan eficientemente la fotosíntesis y de esta manera permitir la entrada de los rayos solares y la correcta aireación a la canopia.

El despunte fue realizado cuando el desarrollo de los brotes fue excesivo, eliminando las puntas a unos 30-35 cm por encima del pampano, los pámpanos despuntados se hacen más fuertes y mantienen su posición vertical creando una especie de paraguas de protección de los racimos. En la segunda gestión, esta labor fue realizada a mediados del mes de diciembre de 2012.

En las dos gestiones de producción, el manejo fitosanitario fue especialmente contra las siguientes enfermedades, Botritis (*Botritis cinérea*), Oidio (*Uncinula necator*), Mildiu (*Plasmopora viticola*), se utilizó productos agroquímicos para su control tales como Agrozeb (Mancozeb), Systhane (Myclobutanil), Bavistin, Cypermitrina, Biol y aceite agrícola, en aproximadamente 2 veces al mes, en las etapas más vulnerables del cultivo que coincidieron con la época de lluvias. Se realizó el control contra la arañuela

(*Panonychus ulmi*), donde se observó que el ataque en el periodo de lluvias, disminuía gradualmente.

Por último, la cosecha de la primera gestión fue realizada el 18 de abril del 2011, de forma manual, cuando la planta alcanzo la madurez fisiológica. En el segundo periodo, la misma fue realizada el 2 de mayo del 2012. En la actividad de post cosecha se realizaron actividades de eliminación (k'ichirar, termino local para esta selección) de bayas lesionadas, bayas tamaño pimienta y extirpando las colas de los racimos, y finalmente el empaque de los mismos con el fin de obtener un producto seleccionado con un mejor aspecto comercial.

4.3 Evaluación de las características del suelo

Se realizó una calicata de 1,50 x 1,50 m y una profundidad de 1,70 m, en el centro de la parcela experimental, tomando muestras de cada horizonte, la metodología adoptada fue la propuesta por la FAO (2009), mediante la guía para la descripción de perfiles de suelo cuya descripción detallada es presentada en el Anexo 1.

El análisis del suelo, cuyo detalle se muestra en el Anexo 2, se realizó con el fin de observar la relación entre niveles de conductividad eléctrica (C.E) en extracto saturado del suelo (dS/m) y porcentaje de sodio intercambiable (% PSI). Además posibles problemas de infiltración de agua según su relación de adsorción de sodio (RAS) determinado en el análisis.

Las propiedades físicas consideradas fueron: textura, humedad gravimétrica, capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP); densidad aparente (Dap); velocidad de Infiltración (VI). las propiedades químicas del suelo determinadas fueron: pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE); materia orgánica, presencia de sulfatos y cloruros, cationes y aniones intercambiables, sales solubles, contenido de carbonatos, bicarbonatos, relación de absorción del sodio (RAS), sodio intercambiable; determinación de elementos que confieren fertilidad (macro y micro

elementos). La propiedad hidráulica evaluada fue la curva de retención de humedad. Su conocimiento es necesario en estudios de disponibilidad de agua para las plantas, infiltración, drenaje, distribución de poros, conductividad de agua, movimiento de solutos y su distribución espacial.

4.3.1 Determinación de la velocidad de infiltración

La prueba de infiltración se realizó por el método del cilindro infiltrometro, con el objetivo de determinar la velocidad de infiltración del agua en el suelo, el tiempo acumulado, lamina acumulada y la velocidad de infiltración básica (VIB), mediante la ecuación de Kostiakov, Para ello, se registro la velocidad de infiltración entre intervalos de tiempo de 5, 10, 20 – 120 min, hasta que la tasa de infiltración fue constante.

$$Li=Ki*(T)^n \quad (7)$$

donde:

Li = Velocidad de infiltración instantánea, en cm/hr.

Ki, n = Coeficientes empíricos de la función de infiltración (-1 < n < 0).

T = Es el tiempo de oportunidad expresado en min.

Según Kostiakov (1932) citado por Gurovich, (1999), la velocidad de infiltración básica se define como la relación que existe en un momento dado entre la lámina o altura de agua infiltrada y el tiempo empleado. La velocidad de infiltración comienza generalmente con un valor relativamente alto y decrece con el tiempo. Esta fórmula no tiene un fundamento físico, ni es dimensionalmente homogénea, pero se ajusta muy bien al fenómeno de infiltración, dentro de los límites agronómicos (Fernández *et al.* 1971).

4.3.2 Determinación de la capacidad de retención de agua en el suelo

Se tomaron muestras de suelo, las mismas que fueron remitidas al laboratorio de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Simón para la determinación de la curva de retención de humedad por medio del método de ollas de presión. Las

presiones de succión a las que fue sometida la muestra fueron 0,33 Bar, 1 Bar, 5 Bar, 10 Bar y 15 Bar.

4.3.2.1 Curva de retención de humedad

Las curvas características de agua en el suelo fueron ajustadas según Van Genuchten (1980), mencionado por Beppler (2007) por medio do programa Curvaret (DOURADO NETO et al., 1990), utilizando el siguiente modelo:

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (a\psi_m)^n]^b} \quad (8)$$

Donde: θ es el contenido de agua en el suelo, en $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$; θ_r es la humedad residual del suelo, en $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$; θ_s es la humedad de saturación del suelo, en $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$; a, n y b son los coeficientes empíricos y; ψ_m es el potencial matricial de agua en el suelo, en MPa.

La curva de retención de agua del suelo relaciona el contenido de agua de un suelo con la succión, cuanto mayor sea la tensión aplicada, menor será el porcentaje de humedad retenido por el suelo.

4.4 Determinación de la calidad del agua para riego

Se obtuvo una muestra del agua, la cual se envió al laboratorio de suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Simón (cuyos resultados se muestran en el Anexo 3), para la determinación de los parámetros seleccionados para definir la calidad química del agua de riego. Conviene puntualizar que, de los parámetros que a continuación se describen, algunos han sido medidos analíticamente en laboratorio a partir de muestreos en campo (conductividad eléctrica, pH, calcio, magnesio, sodio, carbonato, bicarbonato, fosfato, potasio, sulfato, cloruro y boro), mientras que otros son índices calculados a partir de los anteriores (presión osmótica, contenido total en sales

disueltas, dureza, carbonato sódico residual, relación bicarbonato-calcio y relación de adsorción de sales).

4.5 Determinación del balance hídrico

4.5.1 Determinación de las principales entradas al sistema

a) Precipitación

A través de la estación meteorológica instalada en la zona se llevó un registro a nivel diario de la precipitación de la zona, para cuantificar la lluvia entrante acumulada semanalmente al sistema suelo – planta.

b) Riego

Al inicio del experimento el volumen de agua aplicado al cultivo fue similar en los tres tratamientos hasta el brote uniforme de las primeras hojas, posteriormente, se procedió a la reposición de las láminas de riego calculadas para cada tratamiento, las mismas que estaban en base a la evapotranspiración de referencia (E_{To}), calculada con el método de Penman-Monteith directamente por la estación agrometeorológica automática (Vantage Pro). El Tratamiento 1 (T1) 100%, Tratamiento 2 (T2) 75%, y Tratamiento 3 (T3) 50% de E_{To} , menos la precipitación efectiva (P_e). El valor de P_e , fue estimado en base al 90% de la precipitación diaria registrada por la estación meteorológica debido a que el suelo fue removido completamente en la actividad del “chonteo”.

4.5.2 Determinación de las principales salidas del sistema

a) Determinación de la evapotranspiración de referencia

A partir del método de la FAO Penman-Monteith (ecuación 3) se determino la ETo, empleando los datos de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento.

El balance hídrico se fundamenta en que el fenómeno de evapotranspiración se produce a expensas del agua almacenada en la zona radical, la cual proviene del riego o de las precipitaciones. Por esto, la determinación de las necesidades hídricas proviene del conocimiento exacto de los distintos componentes del balance de agua en el suelo.

El balance hídrico fue realizado en base a la ecuación de conservación de la masa (ecuación 1), donde asumimos que la diferencia entre el caudal subterráneo entrante y caudal subterráneo saliente es 0, puesto que no se observó presencia de napa freática cerca a la superficie. También se asume que el caudal superficial saliente (escorrentía) es 0 por el tipo de riego que se realizo para esta investigación, quedando el balance hídrico de la siguiente manera:

$$ETo = Pe + Ri \quad (9)$$

donde Pe es la precipitación efectiva y Ri es el riego (volumen de agua aplicada a las pozas).

4.6 Variables de respuesta

4.6.1 Variables de crecimiento

Para evaluar las variables de crecimiento consideradas para este estudio, se utilizó el procedimiento indicado por Rubio (2002), quien indica que las variables deben ser tomadas en cuenta de la siguiente manera:

a) Peso del material de poda

Este proceso fue realizado antes de iniciarse la brotación. Las unidades son kg m^{-2} y kg cepa^{-1} . Se analizó el peso de los sarmientos podados con el uso de una balanza de precisión.

b) Índice de Ravaz

El Índice de Ravaz es la relación entre el rendimiento de la cosecha en kg m^{-2} y el peso de la madera de poda que se realizó antes de la brotación en kg m^{-2} . El cálculo se realizó para todas y cada una de las cepas seleccionadas para el muestreo en el ensayo, obteniéndose las medias para el conjunto de cada repetición.

4.6.2 Determinación de la calidad del mosto.

De la misma manera Rubio (2000), recomienda que los parámetros de referencia de la calidad del mosto a evaluar deben ser: sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{Brix}$) y acidez del mosto para lo cual se obtuvo una muestra de 20 bayas por racimo de cada tratamiento. La extracción del mosto se realizó de forma manual mediante la trituración de las bayas.

4.6.3 Variables de Rendimiento

La cuantificación de la producción o del rendimiento (peso de uva en kg m^{-2}) se ha obtenido pesando en una balanza de peso máximo 5 kg, el número de racimos producidos y contados previamente a la vendimia, en cada una de las cepas de control individualizadas que componen cada una de las 3 repeticiones del ensayo. Se han determinado también los componentes del rendimiento que a continuación se detallan, en cada una de las unidades experimentales.

a) Evaluación del crecimiento de bayas

Se realizó periódicamente, mediciones del diámetro ecuatorial de las bayas.

b) Peso de bayas por planta

Se realizó el pesado directo del número de bayas por racimo en la cosecha. El peso de las bayas se ha obtenido a partir del muestreo de 20 bayas por cada planta evaluada, tomadas aleatoriamente de entre todos los racimos de la cepa de cada parcela y procurando recolectar de todas las posiciones dentro del racimo. De estas mismas bayas se ha extraído el mosto para su posterior análisis.

c) Peso de racimo por planta

Se realizó el pesado directo de racimos por cada planta muestreada en la cosecha, expresándose los resultados en gramos.

4.6.4 Variables de Productividad del agua

Con el fin de evaluar la relación agua aplicada con los parámetros de producción se aplicó la ecuación 10 (descrita por Guzmán, 2010) que señala que la eficiencia del uso del agua está en función del rendimiento del cultivo.

Índice de Producción = Variable de rendimiento / lamina de agua acumulada (mm) (10)

4.6.5 Función de producción

Se realizó en base al volumen total de riego versus el rendimiento total del cultivo, lo cual permitirá evaluar la cosecha con base al mejoramiento del uso del agua para riego.

4.7 Índice de Eficiencia del uso de agua

El índice de eficiencia del uso de agua fue determinada por la relación entre la productividad total de los frutos y la cantidad de agua aplicada a través del riego y precipitación (ecuación 11) como lo descrito por Doorembos y Kassam (1994).

$$EUA = \frac{Pt}{W} \quad (11)$$

donde

EUA = Eficiencia de Uso de Agua, kg m^{-3}

Pt = Productividad Total kg ha^{-1}

W = Volumen de agua aplicado m^3ha^{-1}

4.8 Programación de riego basada en la valoración del balance hídrico del conjunto suelo - planta - atmósfera.

Según Sacristán (2008), este tipo de programación, es uno de los más exactos. Se basa en el estudio de la ecuación del balance hídrico del agua en el conjunto suelo-planta-atmosfera. Antes de aportar el agua de riego, la reserva (**Aw**) habrá ido disminuyendo dado que normalmente las pérdidas superan a las entradas. El límite de días que podemos dejar transcurrir sin regar estará fijado por el **NAP** (Nivel de Agotamiento Permisible) que hayamos estimado. Cuando se programa el riego en base al balance hídrico, se adopta un periodo en el que **Aw = 0**. Del resto de los elementos que intervienen, el más determinante va a ser el cálculo de la ETo. La ascensión capilar y la escorrentía superficial suelen tener escasa influencia salvo en circunstancias muy concretas. La percolación profunda puede evitarse con un adecuado sistema de riego. La precipitación efectiva es la fracción de lluvia que realmente se pone a disposición de la planta: se puede estimar a partir de la precipitación total pudiendo hacerse con un margen de error que para el caso de este trabajo de investigación será del 90% de la precipitación real. Los datos básicos para la programación del riego son:

1.- *Clima*: los que requiere la formula seleccionada para el cálculo de ETo: datos de precipitación para poder determinar la precipitación efectiva.

2.- *Suelo*: los precisos para poder determinar el agua útil y el nivel de agotamiento permisible. Los ordinarios son la profundidad del suelo, textura, estructura, volumen de agua en capacidad de campo y en punto de marchitez.

3.- *Cultivo*: los necesarios para establecer el NAP, la profundidad de las raíces z y el descenso de humedad admisible en cada etapa de su ciclo de crecimiento y desarrollo.

Con la información climática registrada en la estación meteorológica y datos del cultivo obtenidos en los dos años de estudio, se procedió a elaborar la Programación de Riegos de la zona, para ello se utilizó el cálculo CROPWAT 8.0 para Windows, estos cálculos son realizados en base a datos climáticos y de cultivo.

Si bien, el criterio técnico que se aplica en nuestro país es el ABRO (Área bajo riego óptimo), para la elegibilidad de proyectos de riego, definido por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, para fines de planificación de riego, la información obtenida en este trabajo, tuvo un mejor ajuste con el programa CROPWAT, por lo cual se determinó la utilización del mismo para realizar la propuesta de programación del riego para la zona estudiada.

Para realizar una correcta programación del riego es esencial determinar el consumo de agua de la planta, la cantidad de agua almacenada en el suelo explorada por las raíces y el comportamiento fenológico de la planta. Además es necesario incorporar información adicional tal como manejo agronómico, sistema de riego, potencial productivo, etc., que de alguna forma condicionan la demanda de agua de los cultivos.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Evaluación del clima

Debido a que no se cuenta con datos históricos del clima en este sector del Municipio de Luribay, se utilizó la información generada por la estación meteorológica instalada en la comunidad de Porvenir (cerca a la parcela de estudio) desde el 27 de octubre de 2010 a 18 de abril de 2011 y desde septiembre de 2011 hasta el 3 de mayo de 2012. Esta información registrada indica que, durante la primavera y el verano se presenta una temperatura media anual de 17 °C, mientras que la máxima extrema es de 30.8 °C, y la mínima extrema en ésta misma temporada, es de 8 °C. En otoño e invierno las temperaturas descienden y se registra una media de 15 °C, una mínima extrema de 2,7 °C (ver Tabla 3).

Tabla 3. Resumen de datos climáticos registrados en la Estación Meteorológica “Porvenir” en las gestiones 2010-2011 y 2011-2012.

Mes	Temp. Media °C	Temp. Máxima °C	Temp. Minina °C	Humedad Relativa %	Velocidad del viento km h ⁻¹	Precipitación mm	Radiación Solar MJ m ⁻² día	ETo mm mes ⁻¹	ETo diario mm día ⁻¹
2010-2011									
OCT*	17,6	27,9	7,2	49,9	2,5	0,0	25,3	21,8	4,4
NOV	17,7	30,4	6,8	52,6	2,7	0,0	31,6	165,2	5,6
DIC	17,0	28,5	9,7	67,6	2,1	97,6	21,5	127,2	4,0
ENE	17,5	28,3	11,5	67,6	1,9	78,8	19,4	122,4	3,9
FEB	15,0	24,4	10,2	77,6	1,4	180,2	13,2	74,8	2,7
MAR	15,1	25,2	8,2	78,4	1,2	64,8	16,8	91,5	3,0
ABR*	15,7	28,0	6,5	67,9	1,5	4,6	17,5	55,6	3,1
TOTAL						426,0		658,6	
2011-2012									
SEP	15,1	24,6	5,7	59,6	2,2	3,2	22,0	104,8	3,5
OCT	16,4	31,7	8,9	60,4	2,0	8,8	23,7	133,4	4,3
NOV	17,5	31,7	8,4	60,6	1,9	13,2	25,3	144,8	4,8
DIC	16,2	28,3	9,4	70,4	1,2	118,4	18,3	111,1	3,6
ENE	16,0	26,6	8,1	72,7	1,0	98,4	19,1	116,2	3,7
FEB	15,2	24,9	9,5	79,5	0,7	108,4	17,1	87,1	3,0
MAR	14,9	27,2	8,0	76,9	0,6	68,2	16,8	88,5	2,9
ABR	15,1	27,6	4,9	72,5	0,7	27,2	16,4	83,5	2,8
MAY*	14,4			66,9	0,7	0,0	21,3	9,3	3,1
TOTAL						445,8		878,80	

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de la Estación Meteorológica de Porvenir-Luribay

En la Figura 6 se observan las temperaturas máximas, medias y mínimas registradas en los dos periodos en que se desarrollaron los trabajos de investigación. En la gestión 2010-2011, la temperatura máxima se registro en el mes de noviembre, registrando una temperatura máxima media de 30,4 °C (época de floración del cultivo) y la temperatura mínima media de 6,5 °C en el mes de abril de 2011 (periodo de cosecha).

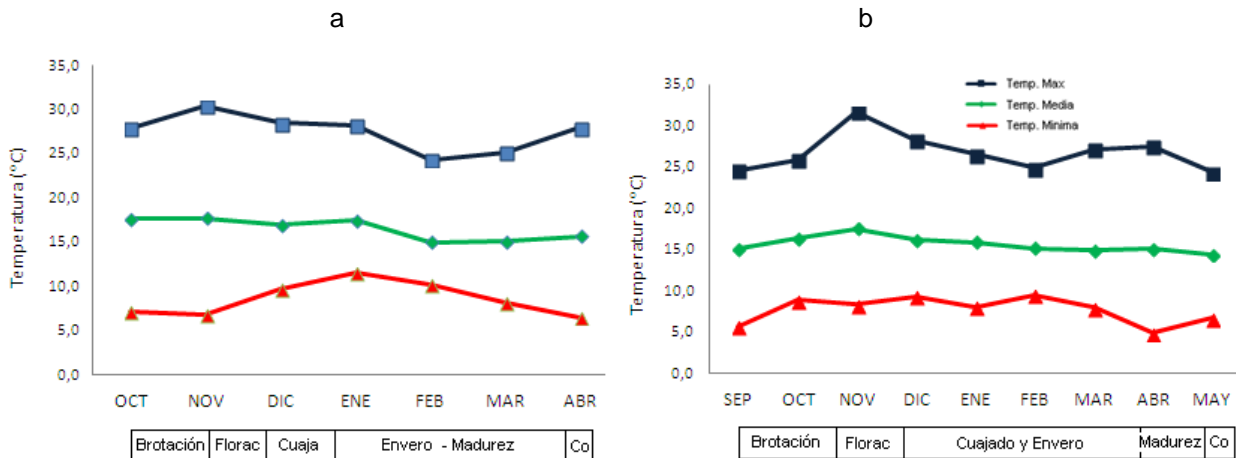


Figura 6. Temperaturas máximas, medias y mínimas. Periodos: a) 2010-2011; b) 2011-2012 (Porvenir)

En la gestión 2011-2012 la temperatura máxima registrada fue de 31,7 °C, en el mes de noviembre (fase de floración) y la temperatura mínima de 4,9 °C, registrada en el mes de abril de 2012, coincidiendo con la fase de madurez de la baya.

De la misma manera, en la Figura 7, se puede apreciar las precipitaciones registradas en las dos gestiones estudiadas. En la primera gestión, las precipitaciones se concentraron en los meses de diciembre de 2010, enero, febrero, marzo y abril de 2011. Las primeras lluvias fueron registradas en los primeros días de diciembre (comienzo de la cuaja de bayas), la máxima precipitación media fue registrada en el mes de febrero de 2011 (fase de maduración) registrando un valor de 180 mm. La precipitación total dentro de este periodo fue de 426 mm.

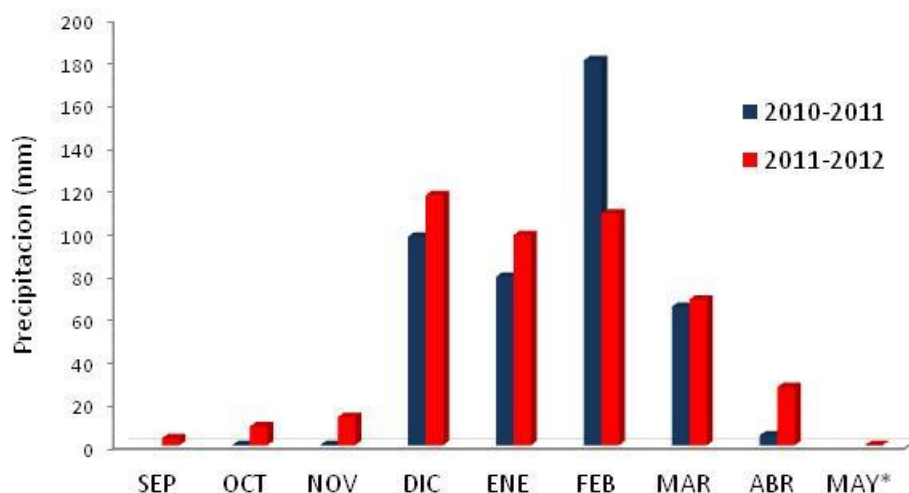


Figura 7. Precipitación pluvial mensual registrada en los periodos 2010-2011 y 2011-2012 (Porvenir)

En la gestión 2011-2012, la ocurrencia de lluvias comenzó en el mes de septiembre de 2011 (3,2 mm) y concluyó en el mes de abril de 2012 (27,2 mm), la precipitación total en esta gestión fue de 444 mm. Realizando una comparación entre las dos gestiones, se observa que en la segunda gestión hubo una ocurrencia de lluvias en 8 meses del ciclo del cultivo a diferencia de la primera que solo fueron 5 meses. Por otro lado, hubo una menor precipitación mensual, excepto en los meses de diciembre de 2011 y enero de 2012 que superaron el registro de la anterior gestión. La distribución de las lluvias fue más equitativa en los meses de lluvia en 2011-2012 que en 2010-2011.

La Evapotranspiración de referencia registrada desde el 27 de octubre en la primera gestión, fue de 659 mm, registrándose la mayor ETo en el mes de noviembre de 2010, con un registro de 165 mm ($5,5 \text{ mm día}^{-1}$) coincidiendo con la época de floración, la misma que fue disminuyendo cuando comenzó la época de lluvias, llegando en la época de cosecha en el mes de abril a 56 mm ($3,5 \text{ mm día}^{-1}$) (Figura 8). En la siguiente gestión, la evapotranspiración de referencia registrada desde septiembre de 2011 hasta la cosecha, fue de 869 mm, siendo noviembre, mes de floración, con una ETo de 145 mm ($4,8 \text{ mm día}^{-1}$), disminuyendo este valor en el mes de abril (época de madurez del fruto) hasta 83,51 mm ($2,8 \text{ mm día}^{-1}$).

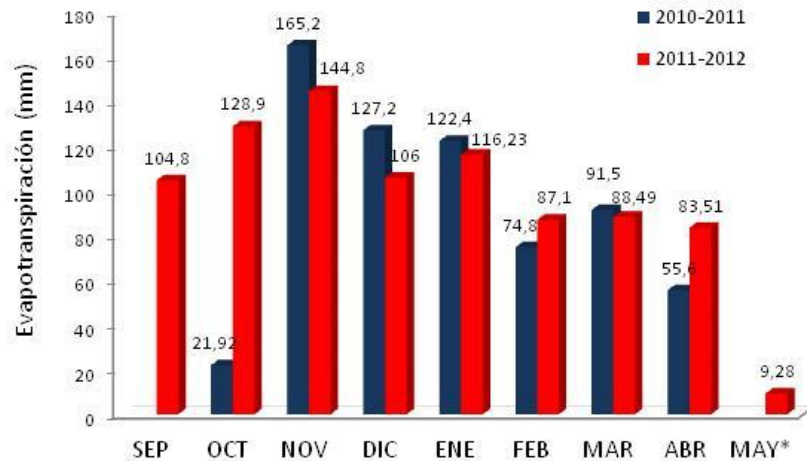


Figura 8. Evapotranspiración de referencia registrada en los periodos 2010-2011 y 2011-2012 (Porvenir)

Realizando una comparación entre gestiones, se puede observar que en la gestión 2010-2011 hubo una mayor evapotranspiración dentro del ciclo del cultivo (tomando en cuenta desde la época de brotación), excepto en el mes de febrero donde se registro un leve aumento en la segunda gestión (74, 8 y 87,1 mm, respectivamente).

La humedad relativa registrada en la gestión 2010-2011, oscilo entre 50% en octubre y noviembre y 68 y 78% entre diciembre y marzo (Figura 9). En la gestión 2011-2012, el mes con menor humedad relativa fue septiembre y febrero de 2012 registro una humedad de 79%.



Figura 9. Humedad relativa aire registrado en los periodos 2010-2011 y 2011-2012 (Porvenir-Luribay)

Comparando las dos gestiones, se observa que la humedad relativa en la segunda gestión fue mayor, en casi todo el ciclo del cultivo, en comparación a la primera gestión, siendo ligeramente menor en el mes de marzo de 2012.

Respecto a la radiación solar, el mes que presento mayor radiación en el periodo 2010-2011, fue el mes de noviembre con $31,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}$, coincidiendo con la época de floración, pudiéndose deber este hecho a la baja nubosidad que se presento en la zona. En el periodo 2011-2012, se tiene similar comportamiento en el mes de noviembre donde se registro una radiación de $25,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}$, siendo inferior al registrado en la primera gestión. La menor radiación fue registrada en el mes de abril ($16,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}$), época de plena madurez del fruto (Figura 10).



Figura 10. Radiación solar, registrada en los periodos 2010-2011 y 2011-2012 (Porvenir-Luribay)

En la Figura 11 se observa los datos de velocidad del viento a dos metros de altura en relación al suelo, donde se presentan los valores más elevados, en los meses secos de la primera gestión, $2,51$ y $2,87 \text{ km h}^{-1}$ en los meses de octubre y noviembre de 2010, en tanto que una menor velocidad se registró en el mes de marzo de 2012, con $1,2 \text{ km h}^{-1}$. En la segunda gestión, se registro $2,2$ y $2,0 \text{ km h}^{-1}$ en los meses de septiembre y octubre de 2012, respectivamente, llegando a los valores mínimos en los meses de lluvia registrándose datos de $0,61 \text{ km h}^{-1}$ en marzo de 2012.

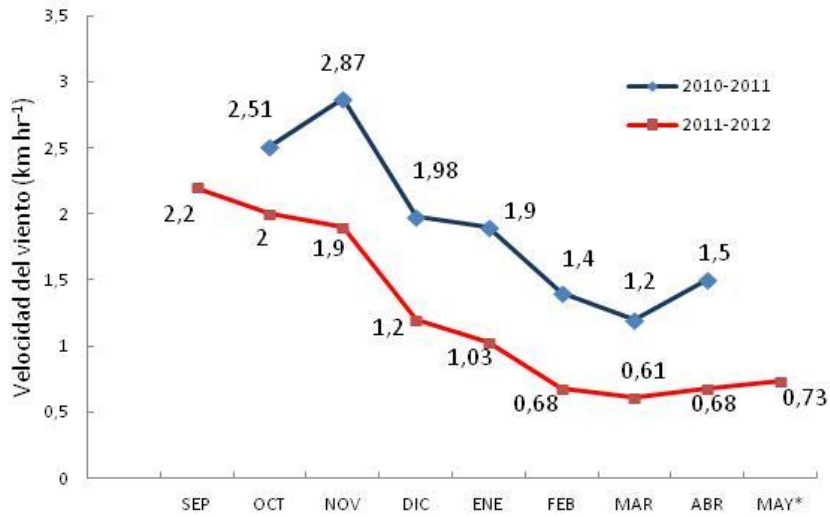


Figura 11. Velocidad del viento registrada en los periodos 2010-2011 y 2011-2012 (Porvenir-Luribay)

5.2. Características del suelo

Se identificaron 5 horizontes claramente definidos, donde no se apreció evidencia de erosión y la influencia humana solo se nota en la capa arable. La profundidad de la napa freática es desconocida y no existe presencia de sales o álcalis (Figura 12). Es un suelo ubicado en un terreno en pendiente ligeramente convexa cerca del lecho del río.



Figura 12. Descripción de la calicata realizada en el viñedo de la Comunidad Porvenir-Luribay

El resumen de los resultados de análisis físicos y químicos, se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4. Análisis físico de los horizontes observados en la parcela de estudio

Horizonte	Profundidad (cm)	Análisis Textural			Clase Text.	Dap. (g/cc)	Cond. Hidráulica cm h^{-1}	C.C %	PMP %	SAT. %	Agua disp. %	Porosidad		
		Arcilla (Y) %	Limo (L) %	Arena (A) %								Macro	Meso	Micro
Ap	0-21	46,0	39,0	15,0	Y	1,11	0,87	39	20	58	19	19	19	20
A ₂	21 - 49	46,8	30,0	23,2	Y	1,00	0,57	42	28	62	14	20	14	28
A ₃	49 - 84	54,8	28,0	17,2	Y	1,16	0,44	45	32	57	13	12	13	32
B	84 - 115	58,8	34,0	7,2	Y	1,26	0,15	44	34	52	10	8	10	34
C ₁	115 - 170	50,8	29,8	19,4	Y	1,27	0,22	42	30	52	12	10	12	30

Fuente. Elaboración propia en base a datos de Laboratorio obtenidos por Padilla, 2012.

Según los resultados del análisis físico realizado al suelo de la parcela estudiada, se tiene entre 46 y 59% de contenido de arcilla (Y) en los cinco horizontes identificados, lo que expresa que tiene una buena retención de humedad y buen almacenamiento de agua, con la desventaja de ser poco permeables, baja aireación y drenaje, pero se observó que el cultivo se desarrolla relativamente bien en este suelo, lo cual se sustenta con lo expuesto por Morales (1995), quien indica que la vid se desarrolla en un rango amplio de suelos, excepto en suelos que tienen pobre drenaje y alto contenido de sal, por consiguiente se realizó un manejo cuidadoso en las labores culturales, cuidando que las texturas finas favorezcan al almacenamiento de agua y la retengan infiltrada cerca de la superficie, aumentando así la conductividad hidráulica y la disponibilidad para la evapotranspiración.

En sus primeras capas (hasta 84 cm), la densidad aparente del suelo oscila entre 1,0 y 1,16 g cc^{-1} , para incrementarse hasta los 117 cm de profundidad a 1,27 g cc^{-1} , lo cual indicaría que las capas profundas se encuentran más compactadas. Estos valores muestran que se trata de un suelo poroso, bien aireado con buen drenaje y buena penetración de raíces hasta los 80 cm, lo que se traduce en un buen crecimiento y desarrollo de la planta, pero para ello, se realizó la incorporación de materia orgánica a la capa arable, antes de la brotación del cultivo, lo cual favorece a la porosidad del sustrato.

La conductividad hidráulica del suelo saturado en la capa arable es de 0,87 cm h^{-1} y va disminuyendo a mayor profundidad hasta llegar a un valor de 0,22 cm h^{-1} , lo que sugiere que los poros que participan en la conducción del agua son pequeños, lo cual hace

probablemente que exista una menor conectividad en el sistema poroso. Estos valores indican que la conductividad hidráulica del suelo es baja.

Los valores obtenidos de capacidad de campo en la capa arable (39% en base a volumen) y punto de marchitez permanente (20%), indican que este suelo tiene una alta disponibilidad de agua para las plantas (19%), probablemente debido a la alta concentración de electrolitos en el sustrato y al aporte de materia orgánica con la cual se mejoro la estructura del suelo, estos resultados coinciden con lo expresado por Beppler (2007), quien indica que la baja densidad del suelo y la elevada porosidad, debido al alto contenido de arcilla, incrementan la porosidad en la línea del cultivo y consecuentemente la infiltración del agua en el suelo, reduciendo las perdidas por escorrentía superficial.

El agua disponible para las plantas, va disminuyendo en las capas más profundas hasta llegar a 10%, coincidiendo este hecho, con la disminución de la conductividad hidráulica del suelo debido al alto contenido de arcillas que existe en las capas inferiores, lo que supondría que las raíces del cultivo aprovechan el agua, principalmente, en los primeros 30 cm de profundidad.

En las tablas 5 y 6, se presenta el resumen del análisis químico realizada a la muestra del suelo, donde se puede observar que en el horizonte Ap, se tiene un pH de 6,85, el cual es considerado ligeramente ácido, varia en las capas más profundas, desde 6.46, 7.2, hasta 7. Dentro de estos rangos de pH, la vid se desarrolla sin ningún problema, puesto que este cultivo se adapta sin ningún problema en suelos con pH entre 4.5 a 8,5, con la salvedad de que ciertos micronutrientes se encuentran menos disponibles, pero en general es un suelo óptimo para su desarrollo. A $\text{pH} > 6.5$ los micronutrientes de Fe, Zn, Mn, Cu y B, se encuentran menos disponibles, a $\text{pH} < 5.5$ el molibdeno se torna no disponibles, tal como lo menciona Palma, 2005.

Tabla 5. Análisis químico del suelo (Cationes de cambio) del suelo de Porvenir

Horizonte	pH.	C.E. dS m ⁻¹	PSI	Cationes de cambio extraídos con acetato de amonio 1 N (meq/100 g de suelo)							
				Carbonat libres	Acidez de cambio Al+H	Ca	Mg	Na	K	Total Bases Intercamb	C.I.C
Ap	6,85	1,56	2,8	A	0,08	10,57	6,78	0,52	0,65	18,51	18,59
A ₂	6,46	1,86									
A ₃	7,20	1,81									
B	7,16	1,27									
C ₁	7,00	1,41									

Fuente: Elaboración propia en base a informe de laboratorio del Instituto Boliviano de Tecnología Nuclear (IBTEN), 2012.

El análisis del complejo de adsorción del suelo indica que la CE de 1,56 dS m⁻¹ en la primera capa y el PSI (porcentaje de sodio intercambiable) de 2,8, nos indican que se encuentra dentro de un tipo de suelo Normal, lo que significa que no existen problemas de salinidad (suelos no salinos) para el desarrollo del cultivo de uva, aunque la tolerancia de este cultivo a la CE, es de 1,5 dS m⁻¹ (moderadamente tolerante), según lo reportado por Palma (2005). Tampoco existen problemas de salinidad hasta los 170 cm de profundidad del suelo, registrándose valores de CE de 1,86, 1,81, 1,27 y 1,41 dS m⁻¹.

Presenta una moderada capacidad de intercambio catiónico de 18,59 meq/100 g, pudiendo deberse este hecho al tipo de arcillas presentes en el suelo que podrían favorecer a una mayor retención e intercambio de cationes y retención de agua. Con buen contenido total de bases intercambiables de 18,51 meq/100 g, con alto porcentaje de saturación de bases de 99,6%, lo que indica que tiene mayor posibilidad de retener cationes en el suelo. El contenido de potasio de 0,65 meq/100 g, indica que, la presencia de este elemento es pobre para el cultivo. Existe contenido medio de calcio (10,57 meq/100 g), contenido medio de magnesio (6,78 meq/100 g) y la presencia moderada de 0,52 meq de sodio, indican que se trata de un suelo sin problemas de sodicidad. La relación Ca⁺Mg/K tiene un valor de 9,63, lo que indica que es un suelo normal, lo que evitaría problemas de salinidad en el suelo, realizando un manejo adecuado en las labores culturales.

Tabla 6. Análisis químico del suelo (Aniones Intercambiables)

Horizonte	Aniones Intercambiables				B ppm	Sat. Básica %	M. O. %	N total %	Fosforo asimilable ppm	RAS
	CO ₃ ⁼ meq/l	HCO ₃ ⁼ meq/l	Cl ⁻ meq/l	SO ₄ ⁼ meq/l						
Ap	0,00	3,50	4,88	8,82	0,12	99,6	3,5	0,25	15,97	1,36

Fuente. Elaboración propia en base al informe de laboratorio de la UMSS, 2012.

Se observa que el contenido de materia orgánica es de 3,5%, esto indica que son suelos orgánicos con alto contenido de materia orgánica, con un contenido alto de nitrógeno total (0,25%). El 99,6% de saturación básica, indica que este suelo es muy débilmente lixividado.

La materia orgánica y la densidad aparente de los suelos desempeñan un rol muy importante en la disponibilidad de agua en los mismos, ya que afectan la distribución de los tamaños de poros en el suelo. Para la aplicación de RDC, se requiere maximizar la capacidad de retención de agua del suelo, para ello es, importante el manejo apropiado de la materia orgánica del suelo y la minimización de la compactación.

El contenido moderado de fosforo (15,97 ppm), se considera que este suelo es rico en este elemento. Por último el, RAS de 1,36 nos indica que no se presenta problemas en la infiltración de agua, considerando que suelos con alto contenido de arcillas expandibles no toleran valores altos de RAS o de PSI.

Estos valores, consideran que el suelo tiene entre una baja a moderada fertilidad, pudiendo deberse a que el cultivo tiene aproximadamente 50 años en producción, lo cual va agotando las condiciones de fertilidad natural del suelo, y es por ello que al inicio de cada periodo vegetativo de la vid (2010-2011 y 2011-2012) y terminando con el reposo invernal se realizo un suministro de materia orgánica para mejorar la calidad y estructura del suelo, en una proporción de 8 kg m⁻². También se considera que este suelo, es apto para el cultivo de uva, con lo cual, no existe mayores inconvenientes en el manejo del mismo.

5.2.1 Infiltración de agua en el suelo

Los datos generados en las pruebas de infiltración con cilindros infiltrometros se muestran en la Tabla 7 y Figura 13.

Tabla7. Prueba de Infiltración con cilindros infiltrometros

Nº	Tiempo instantáneo (min)	Tiempo Acumulado (min)	Lamina Instantánea (campo) (cm)	Lamina Infiltrada Acumulada (campo) (cm)	Infiltración Acumulada (ajustada) (cm)	Velocidad de Infiltración (campo) (cm h ⁻¹)	Velocidad de Infiltración (ajustada) (cm h ⁻¹)
	0	0					
1	1	1	4	4	5,9	240,0	65,9
2	1	2	2,8	6,8	6,7	168,0	37,5
3	1	3	1	7,8	7,3	60,0	26,9
4	1	4	0,8	8,6	7,7	48,0	21,3
5	1	5	0,6	9,2	8,0	36,0	17,7
6	5	10	0,8	10	9,1	9,6	10,1
7	5	15	0,5	10,5	9,8	6,0	7,2
8	5	20	0,6	11,1	10,3	7,2	5,7
9	5	25	0,5	11,6	10,8	6,0	4,8
10	5	30	0,4	12	11,1	4,8	4,1
11	15	45	0,6	12,6	12,0	2,4	3,0
12	15	60	0,4	13	12,7	1,6	2,3
13	30	90	0,8	13,8	13,6	1,6	1,7
14	30	120	0,4	14,2	14,4	0,8	1,3

Fuente: Elaboración propia en base a datos de campo.

Con los datos de la prueba de infiltración con, se calcula los parametros empíricos de la ecuación de infiltración de Kostiakov (ecuación 7), cuyo resumen es el siguiente:

$$k_i = 5,659; \quad n = 0,2140; \quad A = 0,7528; \quad n \cdot k_i = 1,2114 \text{ y } n - 1 = -0,786$$

Reemplazando estos valores empíricos en la ecuación 7, se tiene la lámina acumulada calculada en cm y el tiempo en que la velocidad de infiltración cambia en un 10% es la siguiente:

$$T (VIB) = 10^{(n-1)} = 7,86 \text{ h} = 471,58 \text{ min}$$

Con lo cual se obtiene la velocidad de infiltración básica, cuyo valor es:

$$VIB = n * k_i (-10 (a-1))^{n-1} = 0,58 \text{ cm h}^{-1} = 5,8 \text{ mm h}^{-1}$$

La permeabilidad del suelo es baja por lo cual se observa una lenta velocidad de infiltración (VIB), cuyo valor es de $0,58 \text{ cm h}^{-1}$ o $5,8 \text{ mm h}^{-1}$. Guzmán (2010), señala que en un rango de $0,5$ a 2 cm h^{-1} , se considera una infiltración lenta y Cuenca (1989), mencionado por Chipana (1996.), señala que este valor es característico de un suelo de textura arcillo limosa. Esta lenta infiltración, puede atribuirse a que en el perfil del suelo, se encontraron horizontes con una consistencia de plástica a muy plástica (horizontes A_2 y A_3) y también, puede atribuirse a la naturaleza y tamaño de los poros debido al alto contenido de arcilla en las capas más profundas del terreno.

Un bajo valor de infiltración básica induce al aumento de la frecuencia de riego con láminas de agua menor, para evitar escorrentía, esto es muy importante sobre todo para la viña que requiere humedad en las capas superficiales del suelo.

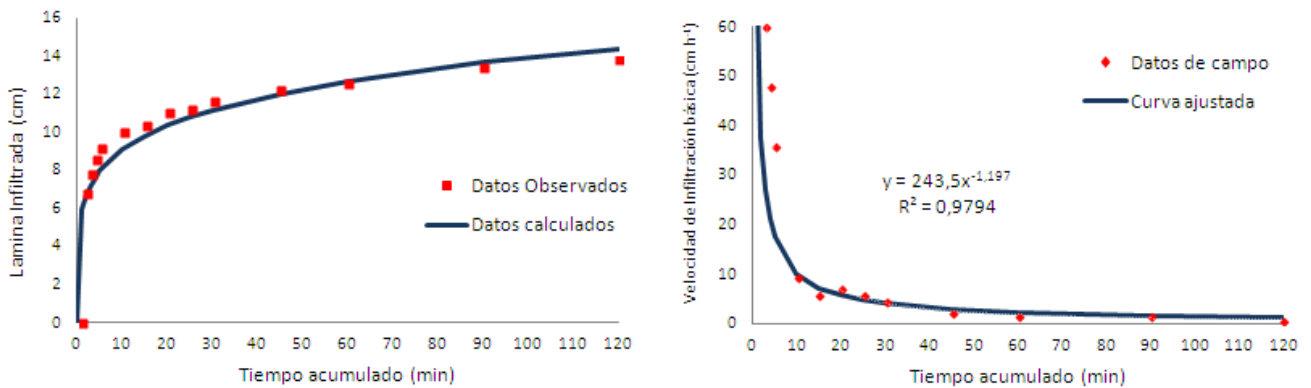


Figura 13. Curva de velocidad de infiltración básica y lamina infiltrada (Porvenir-Luribay)

En la Figura 13, se puede observar que la velocidad de infiltración es alta en los inicios de la aplicación de agua para, posteriormente, disminuir y hacerse casi constante hacia los 25 minutos, a partir de este tiempo, la infiltración comienza a ser lenta. Por otra parte, la

altura de agua que se ha infiltrado desde el comienzo de la aplicación (Infiltración acumulada), siempre aumentará variando solamente la pendiente. De este modo, sabemos que si el agua está, por ejemplo, 25 minutos mojando el suelo, se habrán infiltrado 10,8 cm, que equivalen a 10,8 l m⁻² ó a 108 m³ ha⁻¹. A 120 minutos de riego, se llega a aplicar 14,4 cm o 14,4 l m⁻².

La correlación entre la información recolectada en campo es de 0,97, lo que indica que existe una alta correlación entre variables de lámina infiltrada y tiempo que toma esta para infiltrarse al suelo.

De la misma manera, se aprecia los límites de valides de la ecuación de Kostiakov, mas no representa el verdadero fenómeno de la capacidad de infiltración en ambos extremos de los tiempos, pero sí los representa en los tramos medios, lo que significa que a medida que el suelo se va saturando, y la velocidad de infiltración se acerca al valor de conductividad hidráulica del suelo saturado K, próximo a la VIB, los valores dejan de representar el fenómeno de la infiltración. Es por ello que Kostiakov, aconsejó usar su ecuación en rangos de velocidad de infiltración instantánea "Li" superiores a "k".

Los valores de humedad en base a masa y en base a volumen en función de la tensión de la humedad del suelo, están consignados en la tabla 8.

Tabla 8. Valores de humedad en base a masa y volumen en función a la tensión del agua del suelo (Porvenir-Luribay).

Tensión	Porvenir	
	Humedad Gravimétrica (%)	Humedad Volumétrica (%)
% Saturación (0 Bar)		58,0
% Capacidad de Campo (0,33 Bar)	35,50	39,1
% Equivalente de humedad (1 Bar)	28,97	33,3
% Punto de Ruptura Capilar (5 Bar)	24,37	28,0
% Punto. Marchitez Reversible (10 Bar)	18,29	21,0
% Punto. de Marchitez Permanente (15 bar)	18,20	20,9
% de Agua Disponible Total		19,9

Fuente. Laboratorio de suelos Universidad Mayor de San Simón, 2012.

Se observa, que el porcentaje de Saturación es de aproximadamente 58%, la Capacidad de campo es de 39% y el Punto de Marchitez Permanente 20,9%, constituyendo de esta manera, el volumen de agua disponible para el cultivo en 19,9%, o 190 mm m⁻¹ de profundidad de suelo, considerado un valor alto. La disponibilidad de agua tiende a aumentar con el contenido de arcilla hasta aproximadamente 40-50% de arcilla y luego se reduce cuando la arcilla sobrepasa estos valores. Además, es probable que no solo la cantidad sino también el tipo de arcilla desempeñen un rol importante en la disponibilidad del agua.

Con los valores obtenidos en laboratorio, se procede a determinar los parámetros de ajuste de la ecuación de van Genuchten, obtenidos a través del software CURVARET, versión 2,16 (Van Lier y Dourado Neto, 1991). En la tabla 9, se presentan dichos parámetros con los cuales, posteriormente se construye la curva de retención de agua en el suelo (Figura 14).

Tabla 9. Parámetros de ajuste de la curva de retención de agua del suelo.

Gestión	Profundidad (cm)	Humedad		Coeficiente			Coeficiente de ajuste del modelo
		θ_r	θ_s	α	m	n	
2011- 2012	0 – 30	0,209	0,585	0,0089	0,3687	1,5840	0,978

Fuente. Elaboración propia en base a los resultados obtenidos con el Programa CURVARET

El agua retenida en el suelo entre los puntos de humedad residual y de saturación (θ_r y θ_s , respectivamente) en los suelos del viñedo en estudio con alto contenido de arcillas, fueron elevados. Esto puede deberse a la textura del suelo cuyo contenido de poros (donde se almacena el agua) es alto. Como se observa en la siguiente figura la CC estuvo retenida a una tensión de 336,51 –cm columna de H₂O y el PMP a una tensión de de 15295, 74 –cm columna de H₂O.

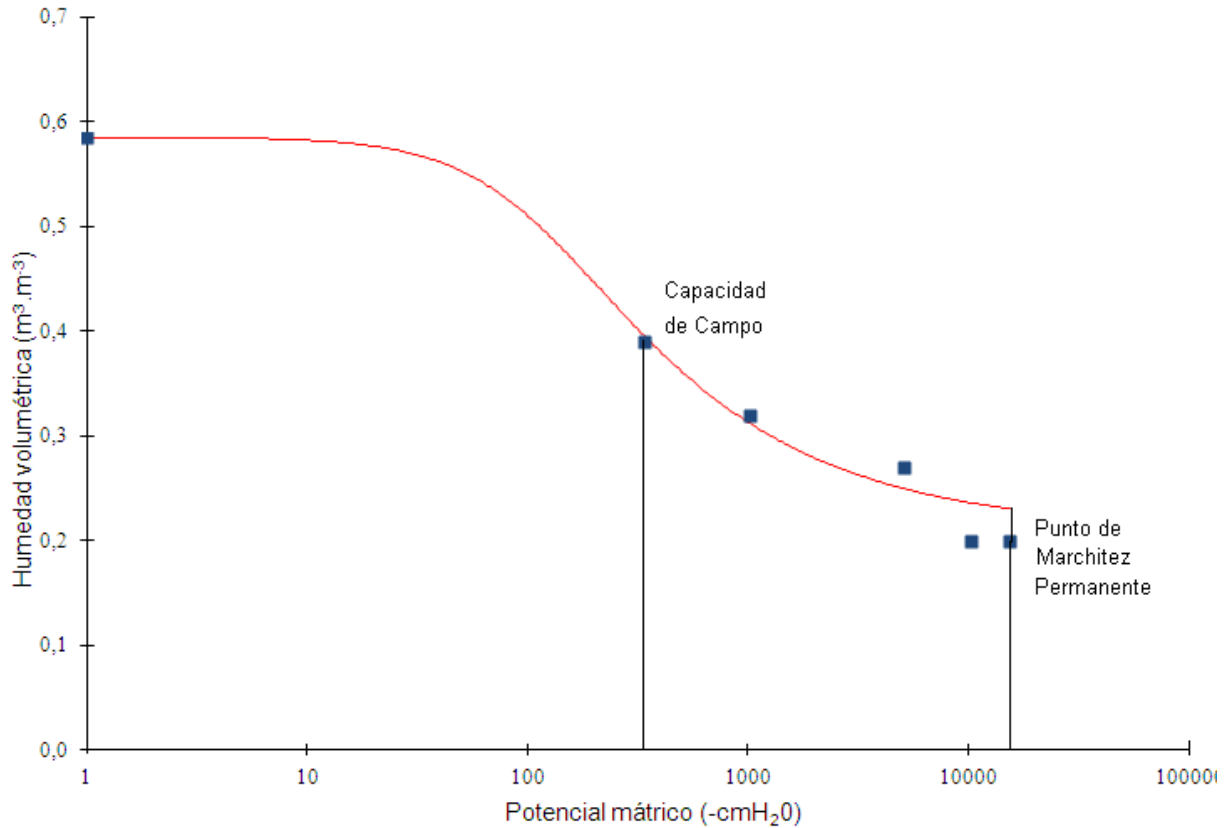


Figura 14. Curva de retención de agua en el suelo a una profundidad de 0 - 30 cm

Cabe señalar que el criterio más importante a la hora de definir el estado hídrico del suelo, no es su contenido total de agua, si no la fuerza con que esta esté retenida con la matriz de suelo, el agua se pega a las paredes del sistema poroso y mientras menos agua exista en el suelo, esta se pegará con mayor fuerza y no será absorbida por las plantas, por otro lado, las raíces tienen un tamaño variable, por lo tanto la capacidad de exploración en suelos con sistemas porosos muy finos, como lo que ocurre en suelos arcillosos, serán limitadas. Finalmente se debe tomar en cuenta que el suelo se seca primero en su fracción más gruesa, por lo tanto si el suelo se encuentre seco, el agua estará contenida en las fracciones mas finas del sistema poroso y consiguientemente será de difícil acceso para las raíces.

En base a los datos de humedad del suelo, recolectados en campo, en las dos gestiones, se pudo realizar un análisis de la variación del contenido de humedad en el suelo para cada gestión antes y después del riego (figuras 15 y 16).

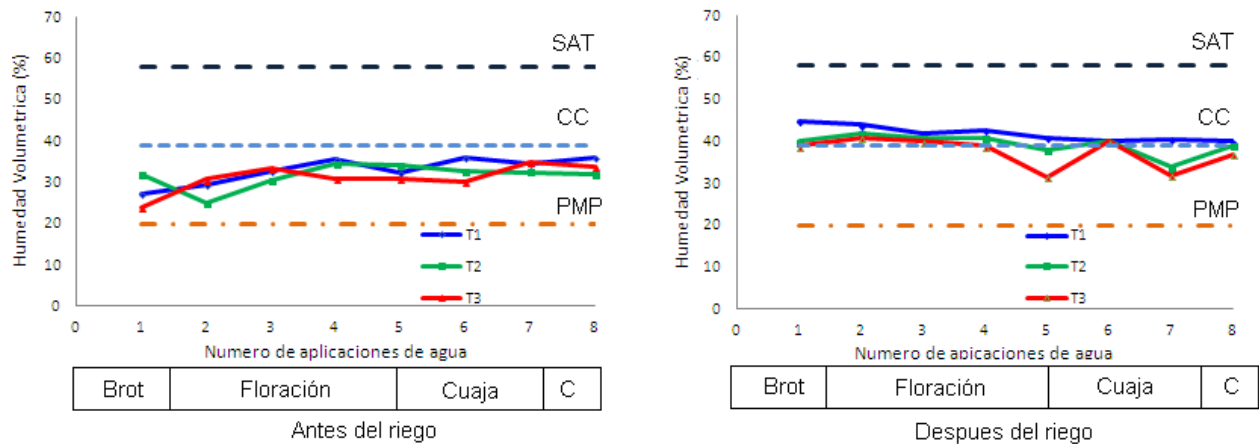


Figura 15. Valores del contenido de agua en el suelo antes y después del riego (Gestión 2010-2011).

Como se observa en la figura anterior, a inicios de la brotación en la gestión 2010-2011, antes del riego, la humedad del suelo se encontraba cerca al punto de marchitez permanente, una vez realizado la primera aplicación de riego (según tratamiento), la humedad vario, llegando a encontrarse por encima de la capacidad de campo en T1 y T2. La frecuencia de riego fue variable, siempre observando que el contenido de humedad en el suelo no llegara a límites inferiores. El riego, a lo largo de todo el ciclo del cultivo siempre mantuvo la humedad del suelo por encima de la capacidad de campo en T1 y T2 y en T3 mas cerca de la capacidad de campo, con lo cual, se puede indicar que la planta, salvo en la fase inicial del cultivo, tuvo disponibilidad permanente de agua para su desarrollo. Cabe destacar que el aporte de agua a partir del mes de noviembre, no solo era por riego, sino también por las precipitaciones que en los meses de enero y febrero de 2011(fase de cuaja y maduración de la baya), esta fue superior a la ETo.

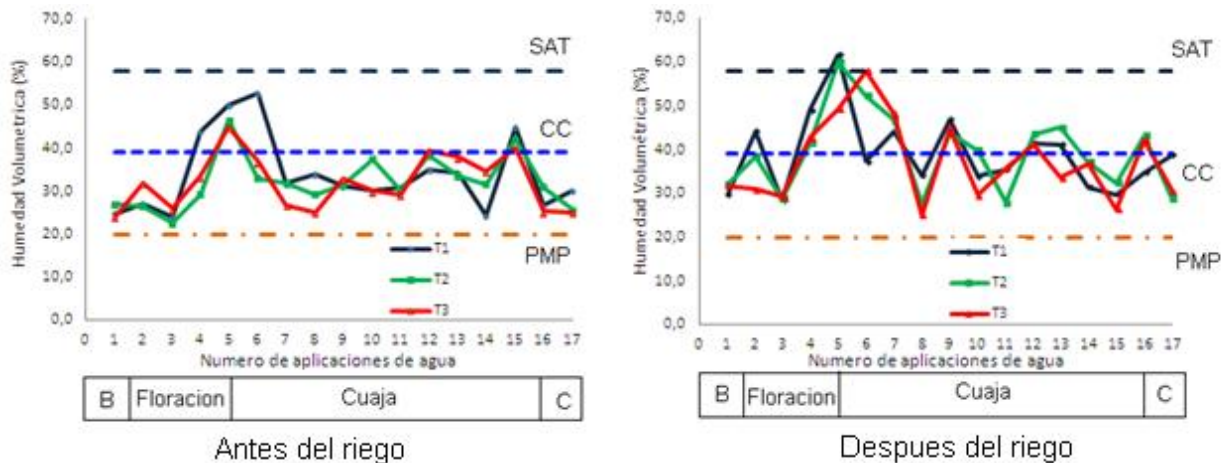


Figura 16. Valores del contenido de agua en el suelo antes y después del riego (Gestión 2011-2012).

En la gestión 2011-2012, las condiciones de humedad en el suelo fueron diferentes a la gestión anterior, pudiendo observarse en la figura 16 que, a inicios de la brotación, antes del riego, la humedad se encontraba muy cerca del punto de marchitez permanente, luego de realizada la primera aplicación de riego por tratamientos, este no llega a capacidad de campo, excepto en T1. Casi finalizando la floración y a principios de la cuaja de bayas, el riego incremento la humedad del suelo por encima de la capacidad de campo, disminuyendo posteriormente a menos de la capacidad de campo a partir del riego 8, llegando cerca al punto de marchitez en T3. En las posteriores aplicaciones de agua hasta la cosecha, esta humedad se mantuvo oscilando entre la capacidad de campo y la ruptura capilar. De la misma manera que en la primera gestión, las precipitaciones a partir de diciembre de 2011, fueron superiores a la ETo, lo cual afectó la aplicación de agua por tratamientos.

5.3 Calidad del agua de riego

El resultado de los análisis realizados se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 10. Resultados de análisis de calidad del agua en Porvenir.

	Parámetro	Unidades	Resultado
Cationes	Sodio	mg/l	14,77
	Potasio	mg/l	4,37
	Calcio	mg/l	39,12
	Magnesio	mg/l	29,80
	Boro	mg/l	0,89
Aniones	Cloruros	mg/l	3,55
	Carbonatos	mg/l	0,00
	Bicarbonatos	mg/l	197,03
	Sulfatos	mg/l	82,65
	Sólidos suspendidos	mg/l	35,00
	Sólidos totales	mg/l	422,58
	Sólidos Disueltos	mg/l	387,58
	pH	-	6,96
	C.E.	dS m ⁻¹	0,541
	RAS ajustado	-	2,885

Fuente: Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN) (2012).

El contenido de sales disueltas en el agua de riego que es utilizado en la Comunidad de Porvenir es de 387,58 mg l⁻¹. Al respecto, Ayers y Westcot (1985), indican que si el contenido total de sales en solución es menor a 450 mg l⁻¹, el grado de restricción para su uso es ninguno, tal como se observa en la muestra.

La CE del agua de riego es de 0,541 dS m⁻¹ en Porvenir, lo cual no afecta al rendimiento potencial en función a la salinidad del agua, según Ayers y Westcot, 1985, el valor máximo de tolerancia a la salinidad para afectar el 100 % de este rendimiento para la vid, es de 1, 5 dS m⁻¹. Este valor no supera al máximo, por lo cual, no afectaría el rendimiento potencial de los mismos, teniendo en cuenta que este cultivo es moderadamente sensible a la salinidad.

La influencia sobre la permeabilidad del suelo (deterioro de las propiedades físicas del suelo, reducción de la conductividad hidráulica y tasa de infiltración) que afectan en los rendimientos de cultivos, se estimó a partir del criterio de RAS ajustado, que permite evaluar con mayor precisión la acción degradante del sodio ante una posible disminución del calcio y magnesio.

La clasificación del agua de riego con respecto al RAS de 2,885, según las normas Riverside, mencionado por Olías *et al* (2005), es de C_1S_1 , la cual tiene un peligro de salinidad Medio (C_1), puede usarse para riego en la mayor parte de los cultivos, en cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad. Se necesita algún lavado, pero en condiciones normales de riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad. Agua Baja en Sodio (S_1) que puede usarse para riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio. Se concluye que no existen efectos adversos en el suelo por la acción del sodio proveniente de la fuente de agua. Esto significa que no existirán efectos de floculación del suelo y reducción de la permeabilidad.

Observando los resultados de análisis de la combinación CE y RAS, del agua muestreada en Porvenir, se considera que esta agua no afectaría la estabilidad de los suelos de las aéreas regables ya que se encuentra por encima de la curva (Figura 15), no siendo afectado en la superficie, no se presentarían problemas de encostrado y consecuentemente los efectos negativos de infiltración, germinación y emergencia de las plántulas, por consiguiente es considerado un agua de buena calidad para riego.

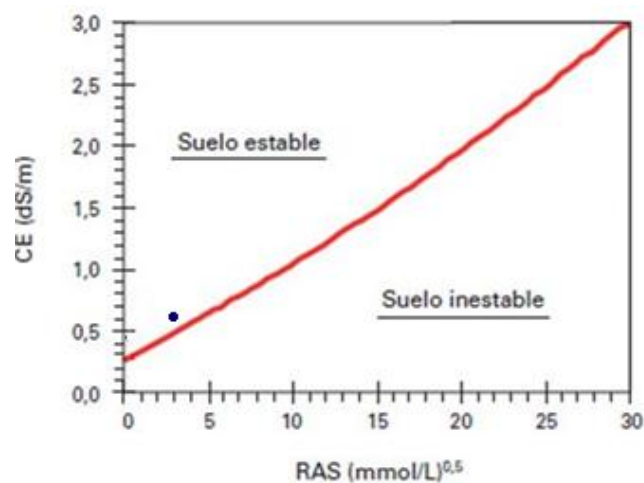


Figura 17. Diagrama de estabilidad de suelos - combinación de CE y RAS, Aragues (2011).

Según Aragües (2011), la combinación de valores de CE y RAS indica que para un CE determinado, un suelo es tanto mas estable cuanto menor es la RAS y que para una RAS determinada, un suelo es estable conforme mayor es la CE. En el caso del estudio, se deduce que aguas de muy baja CE (inferiores a $0,3 \text{ dS m}^{-1}$) pueden desestabilizar los suelos para cualquier valor de RAS. Si bien, en el caso de Porvenir, los resultados muestran que el agua que se utiliza para riego no desestabiliza el suelo, si se debe tomar precauciones puesto que el valor de CE es bajo y está casi al límite de convertirse en un problema para dichos suelos.

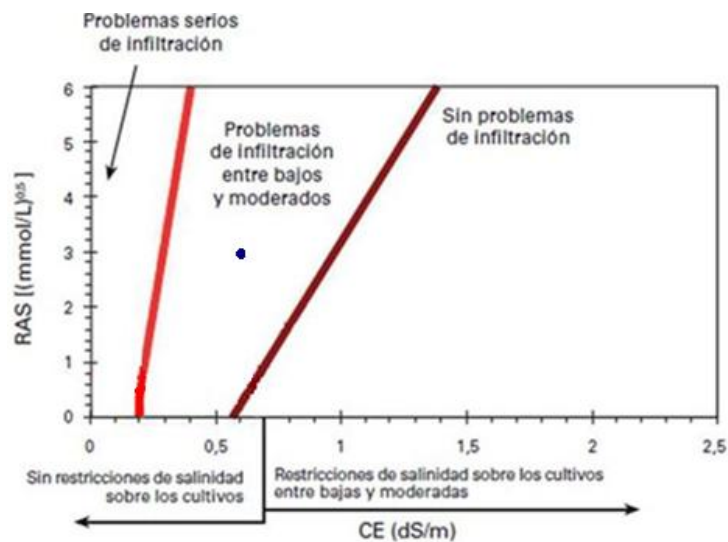


Figura 18. Valores medios de Salinidad (CE) y Sodicidad (RAS) de calidad de aguas representados sobre el diagrama de estabilidad estructural (infiltración) de suelos Aragües (2011).

Como se observa en la Figura 18, los problemas de infiltración están entre bajos a moderados y sin restricciones de salinidad. De forma general, la productividad de estos suelos depende fuertemente de su capacidad de retención de agua, que tiende a aumentar con la profundidad y el contenido en materia orgánica lo cual fue observado en las pruebas de infiltración que se realizó en el suelo.

Esto puede ser explicado porque una característica importante de los suelos de zonas áridas y semiáridas es la presencia de un horizonte cálcico formado por acumulación de carbonato que, en algunos casos, puede llegar a formar una costra de muy baja permeabilidad. La tasa de infiltración de estos horizontes cálcicos suele estar

inversamente relacionada con el contenido en carbonato de estos horizontes. La textura de la capa más superficial del suelo condiciona fuertemente el movimiento del agua en la zona no saturada. El contenido en materia orgánica y la estabilidad de los agregados del suelo disminuyen generalmente con la aridez. Como consecuencia, las tasas de infiltración también disminuyen, aumentando la fracción de escorrentía superficial.

En cuanto a la evaluación del riesgo de inducir toxicidad de un agua de riego, seguimos la clasificación de la F.A.O. (Ayers y Westcot, 1985), la cual indica que un contenido de sodio de $0,64 \text{ meq l}^{-1}$, la toxicidad es inexistente. Por otro lado, el contenido de cloruros ($0,1 \text{ meq l}^{-1}$), también es considerado un riesgo inexistente de toxicidad, al igual que el contenido de boro ($0,270 \text{ meq l}^{-1}$).

5. 4 Balance Hídrico en el suelo

Se realizó el balance hídrico a nivel semanal, el cual relaciona las variables climáticas (precipitación y evapotranspiración) con las edáficas a partir de los resultados obtenidos en la curva de retención de humedad, supliendo siempre el 100%, 75% y 50% de la evapotranspiración de referencia menos la precipitación efectiva en las dos gestiones.

Se analizaron las entradas y salidas al sistema suelo- planta, y por medio de la diferencia entre parámetros se definió la lámina de agua a aplicar en la primera gestión. Se puede observar en la Figura 16 que para el tratamiento 1 los puntos en el balance hídrico se manejaron dentro del valor de evapotranspiración de referencia, esto quiere decir que se repuso el agua evapotranspirada en 100% (no hubo estrés en las plantas), en el caso del tratamiento 2 y 3, la reposición fue menor en 75% y 50% hasta el riego numero 5 (2 de diciembre de 2010), en este punto (inicio de la cuaja de bayas), se aplicó riego deficitario en estos dos tratamientos.

A partir del riego numero 15 (8 de febrero de 2010) y coincidiendo con la época de las máximas precipitaciones pluviales, se suspendió la aplicación de riego debido a que

estas superaban la ETo, por consiguiente la humedad del suelo presentaba niveles próximos a punto de saturación para los tres tratamientos.

Tabla 11. Volumen total de agua aplicado al cultivo de vid en el periodo de producción 2010-2011. Porvenir - Luribay.

Nº	Fases Fenológicas	Fecha	ETo (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación Efectiva (Pe) (mm)	Tratamientos l m ²		
						T1	T2	T3
						50	50	50
1	Brotación	05/11/2010	45,8	0	0	45,8	34,4	22,9
2	floración	13/11/2010	43	0	0	43	32,3	21,5
3		19/11/2010	34,2	0	0	34,2	25,7	17,1
4		25/11/2010	34	0	0	34	25,5	17
5	cuaja de bayas	02/12/2010	36	0	0	36	27	18
6		08/12/2010	27,6	12,6	11,3	27,6	23,5	19,5
7		15/12/2010	26,2	15,6	14	26,2	23,2	20,1
8		23/12/2010	39,3	8,4	7,6	39,3	31,4	23,4
9		29/12/2010	20,6	48	43,2	43,2*	43,2*	43,2*
10		04/01/2011	23,1	19	17,1	23,1	21,6	20,1
11		11/01/2011	30,9	10	9	30,9	25,4	20
12		19/01/2011	30,3	16,2	14,6	30,3	26,4	22,4
13		28/01/2011	32,8	27,2	24,5	32,8	30,7	28,6
14		04/02/2011	22,5	20,6	18,5	22,5	21,5	20,5
15		08/02/2011	9,5	36,6	32,9	32,94*	32,94*	32,94*
16		15/02/2011	18,8	54	48,6	48,6*	48,6*	48,6*
17		22/02/2011	19,5	40,8	36,7	36,72*	36,72*	36,72*
18		01/03/2011	17,5	47,6	42,8	42,84*	42,84*	42,84*
19		08/03/2011	20,1	17,8	16	16*	16*	16*
20		15/03/2011	20,5	26,4	23,8	23,76*	23,76*	23,76*
21		22/03/2011	19,3	9,8	8,8	8,8*	8,8*	8,8*
22		29/03/2011	23,6	2,6	2,3	2,3*	2,3*	2,3*
23		05/04/2011	19,1	8,6	7,7	7,7*	7,7*	7,7*
24		12/04/2011	20,3	3,6	3,2	3,2*	3,2*	3,2*
25	Cosecha	18/04/2011	24,2	0,6	0,5	0,5*	0,5*	0,5*
			658,8	426	383,4	742,3	665,2	587,7

*Lamina de agua aplicada por la lluvia, cuando la precipitación > ETo

Como se observa en la tabla anterior, la evapotranspiración fue mayor que la precipitación hasta el 2 de diciembre de 2010, posteriormente comenzaron las lluvias y en varios periodos, ocurrió lo inverso ($P > ETo$), lo cual ocasiono que se alargara la frecuencia de riego. Al final del ciclo, la ETo total fue de 658,8 mm con un promedio por día de $3,81 \text{ mm día}^{-1}$ y la precipitación alcanzo un valor de 426 mm (registrado desde el 27 de octubre de 2010 al 18 de abril de 2011).

Tabla 12. Volumen total de agua aplicado al cultivo de vid en el periodo de producción 2011-2012. Porvenir.

Nº	Fases Fenológicas	Fecha	ETo (mm)	Precipitación (mm)	Precipitación Efectiva (Pe) (mm)	Tratamientos l m^{-2}		
						T1	T2	T3
	Brotación		169,81	17,18	16	50	50	50
1	Floración	21/11/2011	49,15	2	1,8	49,2	36,9	24,6
2	Cuajado	28/11/2011	33,87	3,2	2,88	33,9	25,4	16,9
3		06/12/2011	42,5	4	3,6	42,5	31,9	21,3
4		15/12/2011	30,64	26,8	24,12	30,6	24,1	24,1
5		23/12/2011	30,04	8	7,2	30	22,5	15
6		31/12/2011	21,09	78,6	70,74	70,7*	70,7*	70,7*
7		04/01/2012	11,03	13	11,7	11,7*	11,7*	11,7*
8		16/01/2012	51,24	19,2	17,28	51,2	38,4	25,6
9		24/01/2012	33,04	34,8	31,32	33	31,3	31,3
10		01/02/2012	23,26	31	27,9	27,9*	27,9*	27,9*
11		09/02/2012	26,46	26,4	23,76	26,5	23,8	23,8
12		17/02/2012	22,4	51,6	46,44	46,4*	46,4*	46,4*
13		26/02/2012	20,71	29,92	26,93	26,9*	26,9*	26,9*
14		05/03/2012	26,63	12,8	11,52	26,6	20	13,3
15		13/03/2012	22,51	42	37,8	37,8*	37,8*	37,8*
16		22/03/2012	31,85	17,6	15,84	31,9	23,9	15,9
17		31/03/2012	26,18	0,4	0,36	26,2	19,6	13,1
18	Cosecha	14/04/2012	88,65	27,4	24,66	24,7*	24,7*	24,7*
			761,06	444,12	399,71	678	594	521

*Lamina de agua aplicada por la lluvia, cuando la precipitación $> ETo$

De la misma manera en la gestión 2011-2012, las primeras precipitaciones superiores a la ETo, se presentaron a partir del 31 de diciembre de 2011 (Tabla 12). Registros desde el mes de septiembre de 2011 al 3 de mayo de 2012, demuestran que al final del ciclo del

cultivo se tuvo una ETo total de 761 mm con un promedio diario de 3,57 mm día⁻¹ y una precipitación de 444, 12 mm. Se realizaron estudios en Chile, donde obtuvieron requerimientos hídricos de la uva alrededor de 7,2 l m⁻² a 4,8 l m⁻², dependiendo de la zona de producción (Ferreyra *et. al*, 2010).

En las dos gestiones de estudio, se observó que en las primeras etapas de desarrollo del cultivo (brotación y parte de la floración), la ETo era superior a la precipitación, por lo cual se debía aplicar agua de riego cuyos valores se presentan en los siguientes cuadros.

En las tablas 13 y 14, se presentan las láminas de riego aplicadas en las gestiones 2010 – 2011 y 2011 y 2012, respectivamente.

Tabla 13. Láminas de riego aplicado en mm, en el cultivo de vid en la gestión 2010-2011. Porvenir – Luribay

Nº	Fecha	T1 100% (ETo-Pe)	T2 75%(ETo-Pe)	T3 50% (ETo-Pe)
		50,0	50,0	50,0
1	05/11/2010	45,8	34,4	22,9
2	13/11/2010	43	32,3	21,5
3	19/11/2010	34,2	25,7	17,1
4	25/11/2010	34,0	25,5	17,0
5	02/12/2010	36,0	27,0	18,0
6	08/12/2010	16,3	12,2	8,2
7	15/12/2010	12,2	9,2	6,1
8	23/12/2010	31,7	23,8	15,8
9	04/01/2011	6,0	4,5	3,0
10	11/01/2011	21,9	16,4	11,0
11	19/01/2011	15,7	11,8	7,8
12	28/01/2011	8,3	6,2	4,1
13	04/02/2011	4,0	3,0	2,0
		359,1	282,0	204,5

Fuente: Elaboración propia en base a datos de campo 2010-2011

Se realizó un primer riego uniforme en el mes de septiembre de 2010, esto con el fin de romper la dormancia del viñedo, luego se comenzaron a aplicar los tratamientos a partir del 5 de noviembre con una frecuencia variable entre 6 a 11 días. El último riego fue

realizado el 4 de febrero, debido a que posterior a esta fecha se registraron precipitaciones superiores a la ETo. El total de lamina de agua aplicada al tratamiento 1 fue de 359 l m⁻², del tratamiento 2 de 282 l m⁻² y el tratamiento 3 de 204 l m⁻².

Tabla 14. Laminas de riego aplicado en mm, en el cultivo de vid en la gestión 2011-2012. Porvenir - Luribay

Nº	Fecha	T1 100% (ETo)	T2 75%(ETo)	T3 50% (ETo)
		50,0	50,0	50,0
1	21/11/2011	47,4	35,1	22,8
2	28/11/2011	31,02	22,52	14,02
3	06/12/2011	38,9	28,3	17,7
4	15/12/2011	6,48	0	0
5	23/12/2011	22,8	15,3	7,8
6	16/01/2012	33,92	21,12	8,32
7	24/01/2012	1,68	0	0
8	09/02/2012	2,74	0,04	0,04
9	05/03/2012	15,08	8,48	1,78
10	22/03/2012	16,06	8,06	0,06
11	31/03/2012	25,84	19,24	12,74
		291,9	208,2	135,26

Fuente: Elaboración propia en base a datos de campo 2011-2012.

De la misma manera, las láminas de riego aplicadas en la gestión 2011-2012, con frecuencias de aplicación entre 7 a 21 días, debido principalmente a la presencia de lluvias entre cada riego. Si bien en este periodo de producción, las precipitaciones registradas fueron mayores al periodo anterior (444 mm y 426 mm, respectivamente), estas precipitaciones fueron distribuidas mas uniformemente durante el ciclo de producción del cultivo, a diferencia de la primera gestión, cuyas precipitaciones se concentraron principalmente en los meses de enero, febrero y marzo de 2012, tal como se observa en las Figuras 19 y 20.

Cuando el cultivo alcanza su máximo desarrollo foliar, por consiguiente la cobertura del suelo es mayor, la demanda evapotranspirativa de la parcela cultivada es elevada, sumado a ello, está el hecho de que la densidad de plantación es de 1 m por 1 m. Al respecto, Ferreyra, (2010), indica que los requerimientos de riego de un cultivo en un momento dado, depende de la demanda evaporativa de la atmosfera, del estado de

desarrollo de las plantas y del porcentaje de cobertura del suelo. Se estima que las necesidades hídricas de la vid en términos generales pueden llegar a unos 450 mm anuales (para una densidad de 3000 cepas por hectárea), sin tener en cuenta las pérdidas por evaporación, consumo de vegetación espontánea etc. Estas necesidades llegan a su punto máximo en la fase media del ciclo (verano), por lo que la época de mayor necesidad hídrica coincide con la época seca. En las condiciones agroclimáticas de la zona en estudio, la vid tiene un ciclo similar al establecido según la FAO 56, siendo aproximadamente 205 días la duración del ciclo, en comparación a los 210 días establecidos por la FAO 56 (Tabla 15).

Tabla 15. Fases fenológicas del cultivo de vid y duración de los periodos de las distintas fases según la FAO 56 y valores obtenidos en Porvenir

Fase Fenológica	Duración FAO 56 (días)	Duración Promedio (días)
Brotación - Floración	30	30
Floración - Envero	60	50
Envero - Vendimia	40	45
Vendimia - Caída de hojas	80	75
TOTAL	210	200

Fuente. Elaboración propia en base a observaciones ciclos 2010-2011 y 2011-2012

En la aplicación de agua total al suelo, se observa que en la época de precipitaciones mayores a la evapotranspiración, el aporte de agua fue superior a la ETo, en los tres tratamientos (evento 9, 15, 16, 17, 18 y 20), coincidentes estas fechas, con la fase de maduración de las bayas, lo cual favoreció al desarrollo del follaje y la fertilidad de las yemas, traduciéndose en mayores rendimientos.

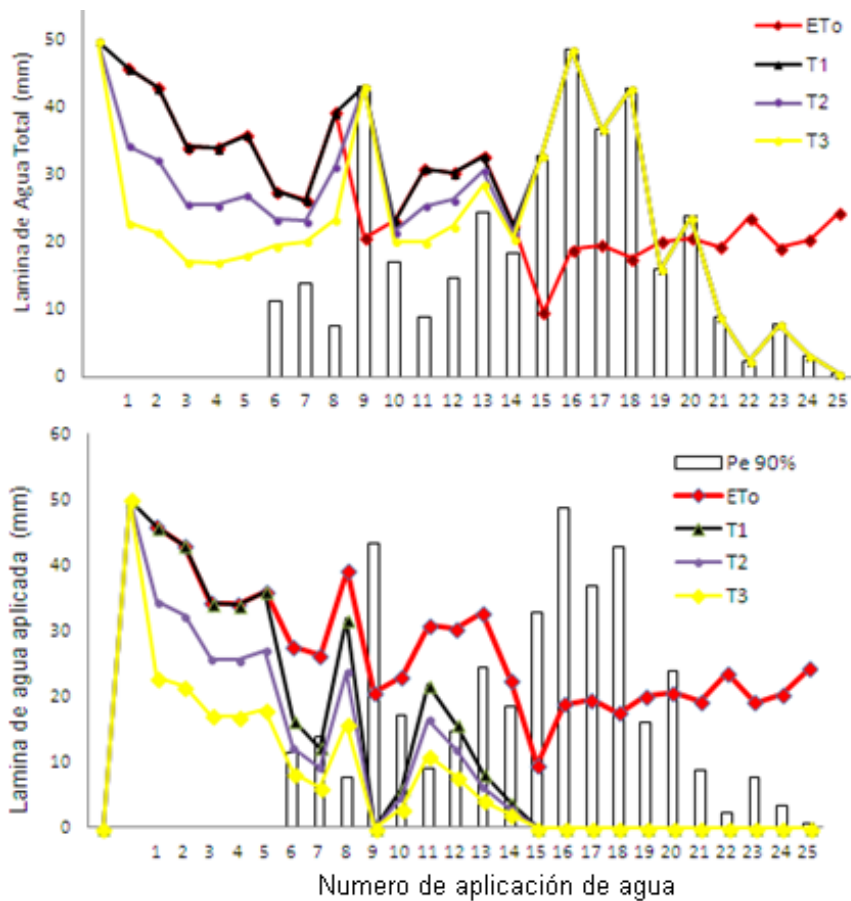


Figura 19. Evapotranspiración de referencia, precipitación y láminas de agua aplicadas por tratamiento (2010-2011)

Se realizó Riego Deficitario en la primera etapa del cultivo, vale decir, en la fase de brotación y floración. El déficit en esta etapa, reduce el tamaño de los pampanos y la floración lo que pudo haber afectado el número de racimos y el diámetro final de las bayas. Por último, se suspendió el riego a partir del 8 de febrero de 2012 hasta el momento de la cosecha, debido a las altas precipitaciones que se registraron en estas fechas.

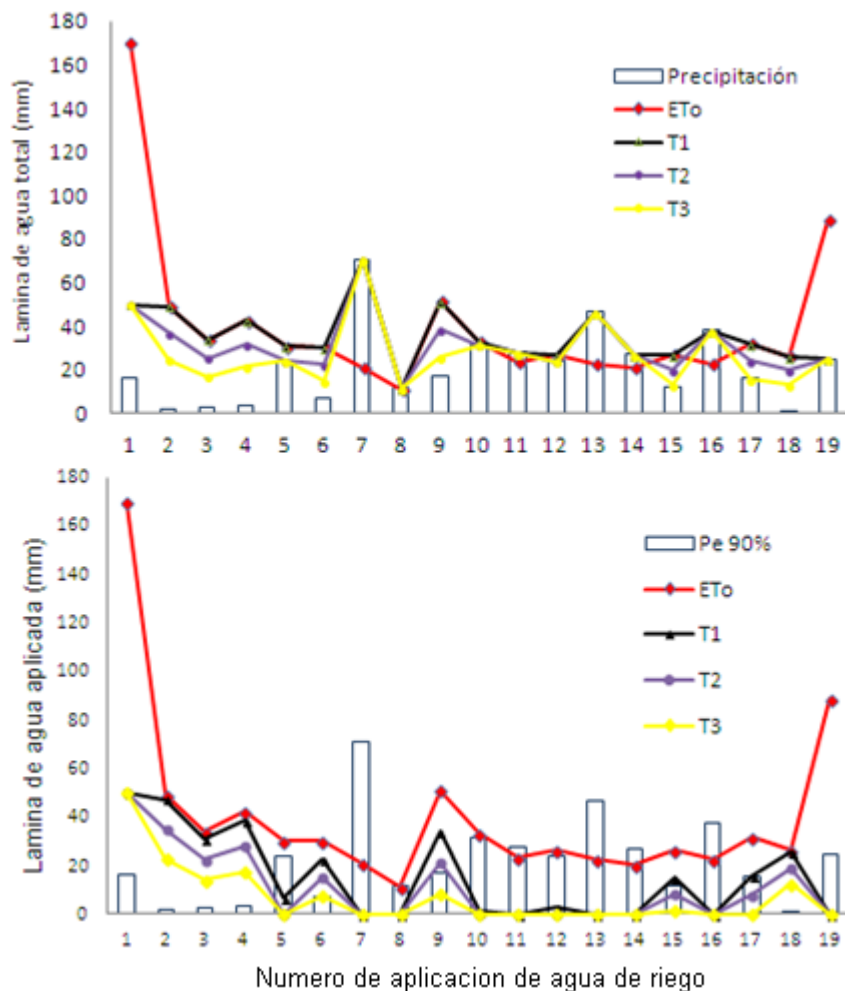


Figura 20. Evapotranspiración de referencia, precipitación y láminas de agua aplicadas por tratamiento (2011-2012)

En el periodo 2011-2012, de la misma manera, la aplicación de agua de riego fue inferior a la ETo en los tratamientos 2 y 3, en todos los eventos de riego (figura 20). Entre los eventos 10 y 14, no se aplicó riego debido a la presencia de lluvias que superaba la ETo.

El aporte de la precipitación efectiva a las necesidades hídricas del cultivo, fue en promedio 58% en la primera gestión y 53% en la segunda, lo que enfatiza el papel preponderante del riego en las condiciones semiáridas de la zona de los valles interandinos de La Paz, principalmente en la época seca. Por otra parte los menores valores de rendimiento coinciden con los tratamientos con menor aporte de agua. En cuanto al aporte de agua de riego en función a la ETo, ésta tuvo una relación de 55% en

T1, 43% en T2 y 31% en T3 en la gestión 1. En la gestión 2011-2012 esta relación fue de 38% en T1, 27% en T2 y 18% en T3 de la lamina aplicada con riego. Por consiguiente, se pudo evidenciar que el aporte total de agua (riego mas la precipitación efectiva) con respecto a la ETo, fue de 113% en T1, 101% en T2 y 89% en T3 y en la segunda gestión, el volumen total de agua aportado a los tratamientos fue de 85%, 74% y 68% en T1, T2 y T3, respectivamente.

La etapa entre cuaja y pinta de la baya es la época recomendada por Gurovich y Páez (2004), para imponer condiciones de estrés hídrico, porque su efecto no tiene posibilidades de recuperación del tamaño potencial de la baya al momento de la cosecha, aun cuando la disponibilidad hídrica no esté limitada después de la pinta y hasta la cosecha, lo cual no se pudo observar en el experimento debido a que en las dos gestiones, se presentaron precipitaciones pluviales superiores a la ETo, lo cual mantuvo la humedad de suelo en niveles altos.

5.5 Variables de Crecimiento

En la Tabla 16, se presenta un resumen de las variables de crecimiento y rendimiento del cultivo de vid en las dos gestiones evaluadas y en el anexo 4, se presenta el análisis estadístico a todas las variables de crecimiento, utilizando para ello el programa SAS.

Tabla 16. Resumen de las variables de crecimiento y rendimiento del cultivo de vid

Lamina de Riego (l m ⁻²)	Peso Material de Poda (kg)	Rendimiento (kg m ⁻²)	Índice de Ravaz	N racimos/planta (unidades)	Peso Racimos (kg)	Peso de bayas (g)	Diámetro Bayas (mm)	Grados Brix
2010-2011								
742,3	0,43	5,24	12,12	20	0,3	5,27	19,67	19
665,2	0,48	4,68	9,83	21,33	0,24	4,11	18,9	20,67
587,7	0,45	3,4	7,63	23,33	0,15	3,47	15,03	26
2011-2012								
643,8	0,39	6,1	15,58	25,11	0,16	2,89	16,28	20,22
560,0	0,37	4,79	12,85	30,11	0,16	2,87	16,46	19,83
487,1	0,35	4,94	14,12	34,11	0,12	2,7	15,89	20,39

Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos en campo 2010-2011 y 2011-2012

En la Figura 21, se muestra una comparación del material de poda entre las dos gestiones de producción del viñedo. Realizando el análisis estadístico dentro de cada gestión, se observó que en la gestión 2010-2011, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, siendo T1 diferente a T2 y T3, y T2 estadísticamente diferente de T3. En la gestión 2011-2012, el análisis demostró que no hubo diferencias significativas entre tratamientos.

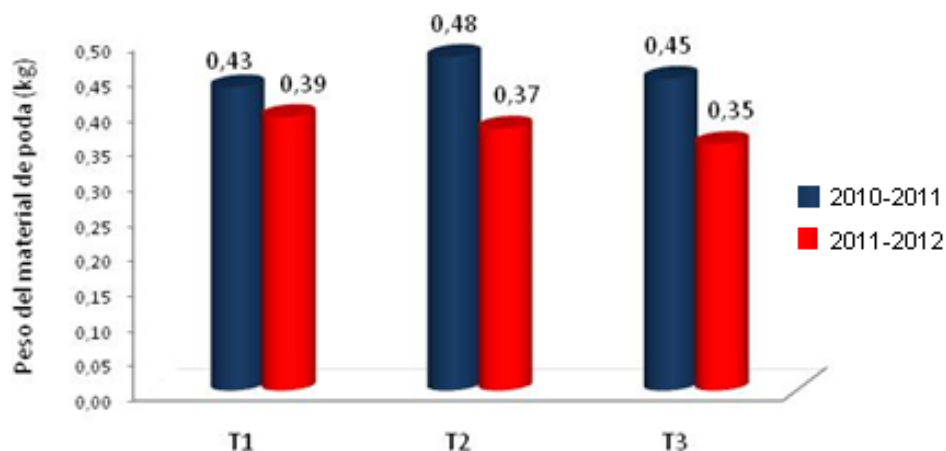


Figura 21. Comparación de valores obtenidos de dos gestiones del peso de material de poda (Porvenir)

Los pesos obtenidos de madera de poda de la gestión agrícola 2010-2011, fueron en el tratamiento 1 de 0,43 kg m⁻²; tratamiento 2 de 0,48 kg m⁻² y tratamiento 3 de 0,45 kg m⁻². En la gestión 2011-2012, el peso del material de poda fue T1, con 0,39 kg m⁻², el T2; con 0,37 kg m⁻² y el T3 0,35 kg m⁻², entrando dentro del rango óptimo propuesto por el INTA Argentina. De acuerdo al Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria INTA 2010, el rango óptimo de peso de madera de poda es de 0,3 – 0,65 kg/m² de canopia.

En la comparación realizada entre gestiones del índice de Ravaz (Figura 22), se observó que en la gestión 2010-2011 se obtuvo un peso mayor en el material de poda que en la gestión 2011-2012. En el análisis estadístico realizado, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas al 5% entre los tres tratamientos en ninguna de las gestiones evaluadas.

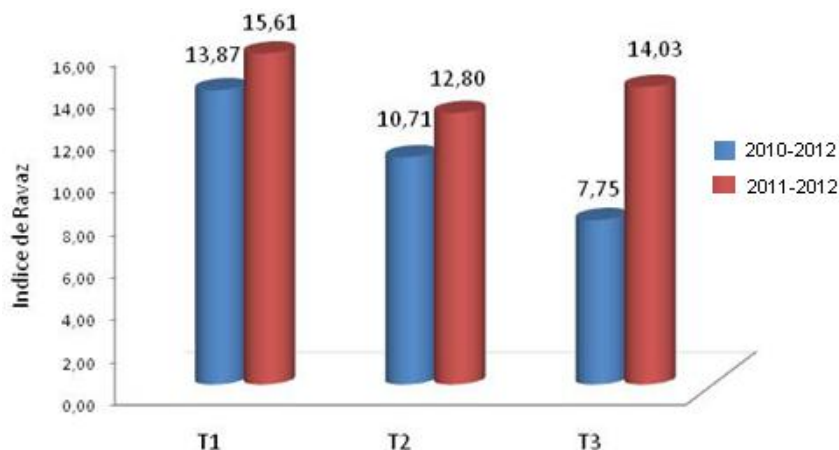


Figura 22. Comparación de valores obtenidos de dos gestiones del Índice de Ravaz (Porvenir)

Según este parámetro, existe riesgo de agotamiento en T1 de la gestión 2010-2011 y en los tres tratamientos de la gestión 2011-2012. Este cociente depende de la variedad de vid, las condiciones edafológicas, el riego, clima, etc. Teniendo en cuenta estos factores, en general, se considera que el índice de Ravaz, debe estar comprendido entre 5 y 10. Por encima de estos valores se considera que puede existir un riesgo de agotamiento por exceso de cosecha.

5.6 Variables de Rendimiento

El análisis estadístico realizado para los rendimientos registrados en la gestión 2010-2011, se observa que hubo diferencias significativas entre tratamientos. Mediante la prueba Duncan al 5%, se comprueba que T3 (34 Mg ha^{-1}) es diferente de T2 (47 Mg ha^{-1}) y T1 (52 Mg ha^{-1}) y que entre T1 y T2, no existen diferencias significativas. En la gestión 2011-2012, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, registrándose los siguientes valores: 61 Mg ha^{-1} en T1, $47,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ en T2 y $49,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ en T3.

Estos valores obtenidos en los rendimientos de las dos gestiones en estudio, fueron superiores en comparación a los rendimientos registrados en los valles del Departamento de La Paz, cuyos valores oscilan entre 32 a 41 Mg ha^{-1} y similares rendimientos

comparados con los obtenidos en los valles de Tarija donde se registran valores alrededor de 69 Mg ha⁻¹ (Paniagua, 2002).

Como se puede observar en la Figura 23, se presentan diferencias notables entre una gestión y otra, registrándose menores valores en el rendimiento de la gestión 2010-2011 cuyo ciclo coincide con el registro de una menor precipitación (426 mm) en comparación a la gestión 2011-2012 cuya precipitación durante el ciclo de producción fue de 444 mm, con lo cual la disponibilidad de agua para la planta en el suelo era mayor en esta gestión.

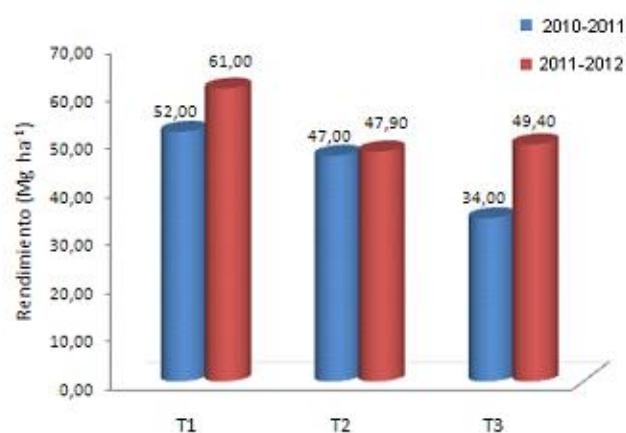


Figura 23. Comparación de los rendimientos del cultivo de las gestiones 2010-2011 y 2011-2012

Al incrementar la densidad de plantación, aumentó la producción del cultivo en las dos gestiones estudiadas, sin considerar la calidad del fruto, lo cual contrasta con estudios realizados por Pérez (2002), donde se muestra que el rendimiento se incrementa a una mayor distancia entre cepas y al aumentar la densidad entre cepas, estas entran en competencia disminuyendo el potencial de producción de la planta y la calidad.

Los componentes de rendimiento que influyen en la diferencia entre tratamientos son principalmente el número de racimos, tamaño de bayas, número de bayas por racimos y peso de baya.

En cuanto a la cantidad de racimos por planta (Figura 24), estos no presentaron diferencias significativas en ninguna de las gestiones evaluadas, observándose un mayor número en la gestión 2011-2012 donde se registraron valores de 25 racimos en T1, 30 en T2 y 34 en T3. En la gestión 2010-2011, se obtuvieron 19,9 racimos en T1, 20,4 en T2 y 23 en T3.

El número de racimos fue mayor en el tratamiento al que menos agua se aplicó en las dos gestiones (Figura 24). Estos resultados no coinciden con el estudio realizado por Rubio (2002), quien indica que el número de racimos, es influenciado positivamente por el riego.

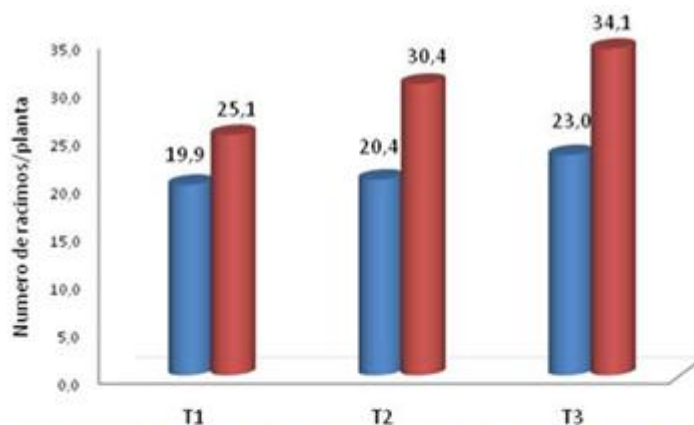


Figura 24. Comparación de valores obtenidos de dos gestiones del número de racimos por planta

También Vita *et. al* (s/f), mencionan que, el efecto de diferentes laminas de riego en la producción de uva de mesa, se obtuvieron diferencias significativas en el numero de racimos totales por cepa, obteniendo 24 racimos por planta en el tratamiento con 100% de reposición de la ETc y el peso total de racimos, siendo mayor este número, en los tratamientos con mayor disponibilidad de agua.

Por otro lado, estudios realizados por Pérez y Momberg (1987), mencionados en la revista del INIA Chile, señalan que, en el caso de vides de mesa, existen diversos factores –tales como el excesivo crecimiento vegetativo y la elevada humedad del suelo-, que predisponen a desórdenes fisiológicos, entre los cuales se encuentra el desecamiento del escobajo, comúnmente conocido como “palo negro”, lo cual afectaría la calidad de los racimos comerciales.

Es necesario mencionar que en la primera campaña, el número de racimos se decidió en la inducción floral, que se produjo en el cultivo durante la campaña anterior, cuando no existían diferencias en el aporte hídrico recibido en los distintos tratamientos del ensayo.

Por otro lado, al analizar los valores obtenidos en el peso de los racimos, en la gestión 1, se observaron diferencias significativas entre tratamientos, siendo T1 el que mayor peso promedio de racimos obtuvo (301g por racimo), seguido de T2 con 243 g y T3 151 g. En la gestión 2, también se observaron diferencias significativas dentro los tratamientos T1 (153 g) y T2 (159 g) con T3 (122 g).

Realizando una comparación entre el número de racimos por planta y el peso de los mismos (Figura 25), se observo en las dos gestiones que el tratamiento con menor cantidad de agua aplicada (T3) presento un mayor número de racimos, fue T1 con el 100% de la reposición de agua, que registro el mayor peso. Si bien T3 tuvo mayor numero de racimos por planta, estos tuvieron una menor calidad comercial en comparación a T1 y T2, principalmente en la gestión 2010-2011 y en la gestión 2011-2012 T1 y T2 obtuvieron cantidades similares en cuanto a peso de racimos a diferencia

de T3 que además, también presento baja calidad en los racimos comerciales para uva de mesa.

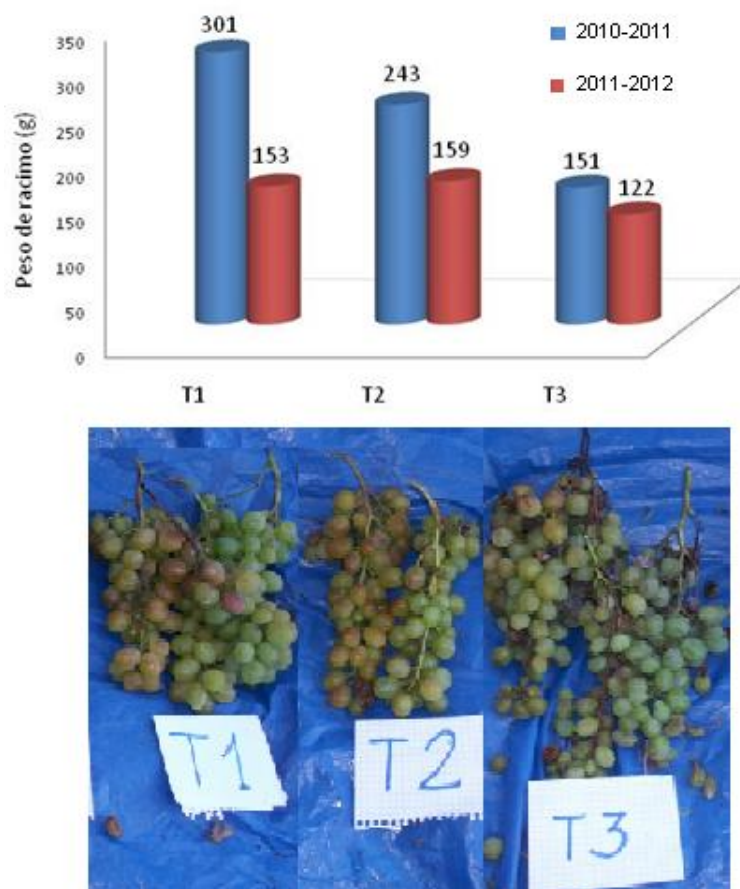


Figura 25. Comparación de valores obtenidos de dos gestiones Peso de racimos (Porvenir)

En la etapa II, correspondiente al inicio de la pinta, el fruto es resistente a la falta de agua, pero el crecimiento vegetativo se reduce significativamente, disminuyendo la capacidad fotosintética y afectando negativamente la calidad de las uvas y aumentando el riesgo de golpe de sol (Gurovich y Vergara, 2005), con lo cual se explicaría la baja calidad comercial en los tratamientos con menor reposición de agua, aunque contaran con un mayor número de racimos por planta. Por otro lado Gurovich y Páez (2004), mencionan que en condiciones de déficit hídrico excesivo durante el crecimiento del fruto, ocasiona el desarrollo de un menor número de células en las semillas y en los tejidos de la pulpa y la cutícula y el crecimiento del fruto que se traduce en grandes pérdidas de rendimientos.

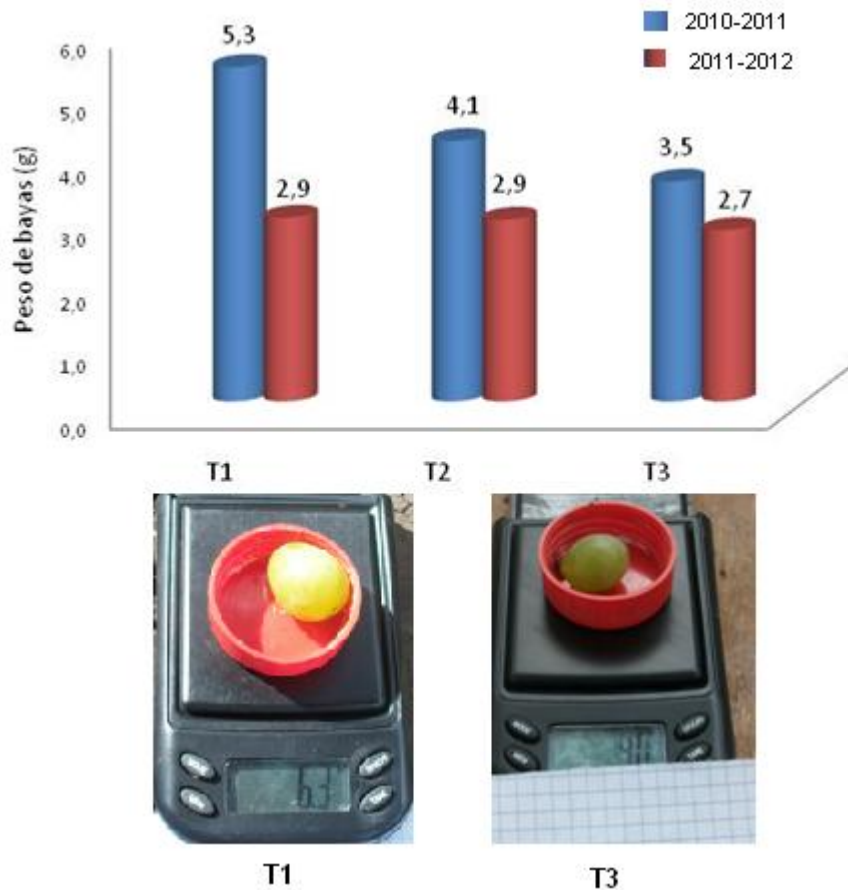


Figura 26. Comparación de Peso de bayas obtenidos en las gestiones 2010-2011 y 2011-2012 (Porvenir)

En cuanto al peso de bayas (Figura 26), se observaron diferencias significativas entre tratamientos de la gestión 2010-2011 y no así dentro la gestión 2011-2012. En la gestión 1 se obtuvo un peso mayor en T1 (5,1 g por baya), seguido de T2 (4,1 g) y T3 (3,5 g), lo cual influyo en el peso final de los racimos. Es evidente que la reposición del 100% de la lamina evapotranspirada, principalmente en la primera etapa de desarrollo del cultivo I – II (fase de crecimiento vegetativo y desarrollo floral), afecta positivamente el peso y diámetro de la baya.

Por otro lado, el Grupo de Investigación en Viticultura (s/f), indica que durante el periodo de tamaño guisante y cuaja, queda determinado el número de células que van a formar cada baya y la elasticidad o capacidad de distensión de la pared celular lo cual afecta el tamaño potencial de cada baya y el rendimiento de la cosecha. Realizando una comparación entre las dos gestiones (Figura 27), se pudo observa que en la gestión 1, el

diámetro de baya también mostro diferencias significativas entre tratamientos, lo que sugiere que mientras más agua se aplicaba al cultivo, mayor era el desarrollo de la baya hasta casi la madurez de cosecha.

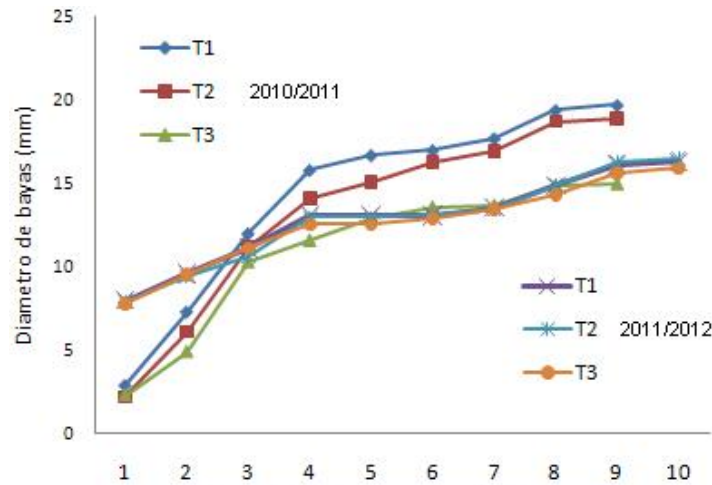


Figura 27. Comparación del Diámetro de Bayas obtenidos en las gestiones 2010-2011 y 2011-2012

En la gestión 2 no hubo diferencias significativas entre tratamientos y presento un menor diámetro de bayas en comparación a la gestión 1. Estos resultados, pueden sugerir que la aplicación en la primera etapa del cultivo es importante para el desarrollo final de las bayas, pues en la gestión 2, se aplico menor cantidad de agua en la primera etapa del cultivo (brotación/floración), siendo la lamina aplicada hasta el 21 de noviembre de 2011 de 99,2 mm en T1, 86,9 en T2 y 74,6 en T3 en comparación a la gestión 2, donde, hasta el 25 de noviembre de 2010, se repuso una lamina de 207 mm en T1, 167,9 mm en T2 y 128,5 mm en T3.

Por otro lado, se pudo percibir en las dos campañas de producción, que el tratamiento que menos agua recibió, produjo racimos con la presencia de bayas deshidratadas. Estos resultados son semejantes a los obtenidos por Navarrete (2003), quien señala que cuando la demanda atmosférica es elevada y esta no es repuesta en los niveles requeridos, la planta no solo extrae el agua del suelo, si no también utiliza el agua de las bayas, traduciéndose este en una deshidratación de las mismas.

Según Gurovich y Paez (2004), el rendimiento de la vid con RDC, se caracteriza por producir racimos con bayas de diámetro reducido, y controla el crecimiento vegetativo de la planta, lo que se puede lograr modificando el balance entre el desarrollo vegetativo y reproductivo de la vid. Además, el mismo autor indica que, el déficit hídrico, provoca una deshidratación paulatina de la baya.

El periodo entre la brotación y cuaja de las bayas es muy sensible al déficit hídrico, porque en esta etapa ocurre la polinización y cuaja del fruto, por lo que cualquier estrés en esta época puede disminuir significativamente los rendimientos, debido a un menor porcentaje de frutos cuajados y posiblemente, a un menor número de racimos (Ferreyra et al., 2010).

Ojeda et al (2002), mencionados por Gurovich y Vergara (2005), señalan que las reducciones en tamaño y peso de la baya al momento de la cosecha son proporcionales al nivel de estrés hídrico inducido entre brotación y cuaja y de una magnitud mayor que aquella provocada con tratamientos de RDC similares durante el periodo de pos-pinta hasta la cosecha, lo cual pudo haber afectado el rendimiento en las dos campañas de producción, porque se realizaron restricciones hídricas en los tratamientos 2 y 3 en todos los periodos de desarrollo del cultivo, principalmente entre la brotación y floración.

5.7 Variables de la calidad del mosto

El contenido de azúcares en la gestión 2010-2011, tuvo una diferencia altamente significativa entre los tratamientos, siendo en T3 donde se observó una alta

concentración de azúcares, cuyo valor fue de 26 °Brix. Estos datos coinciden con lo obtenido por Pire *et al.* (1989), quienes señalan que la concentración de azúcar o sólidos solubles, expresada como grados Brix fue siempre superior en los tratamientos más secos del estudio que realizaron en el Tocuyo, Lara en Venezuela. En cuanto a la gestión 2011-2012, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, pero se observó que en T3 hubo un ligero incremento en la concentración de azúcar, presentando este un valor de 20,4 °Brix.

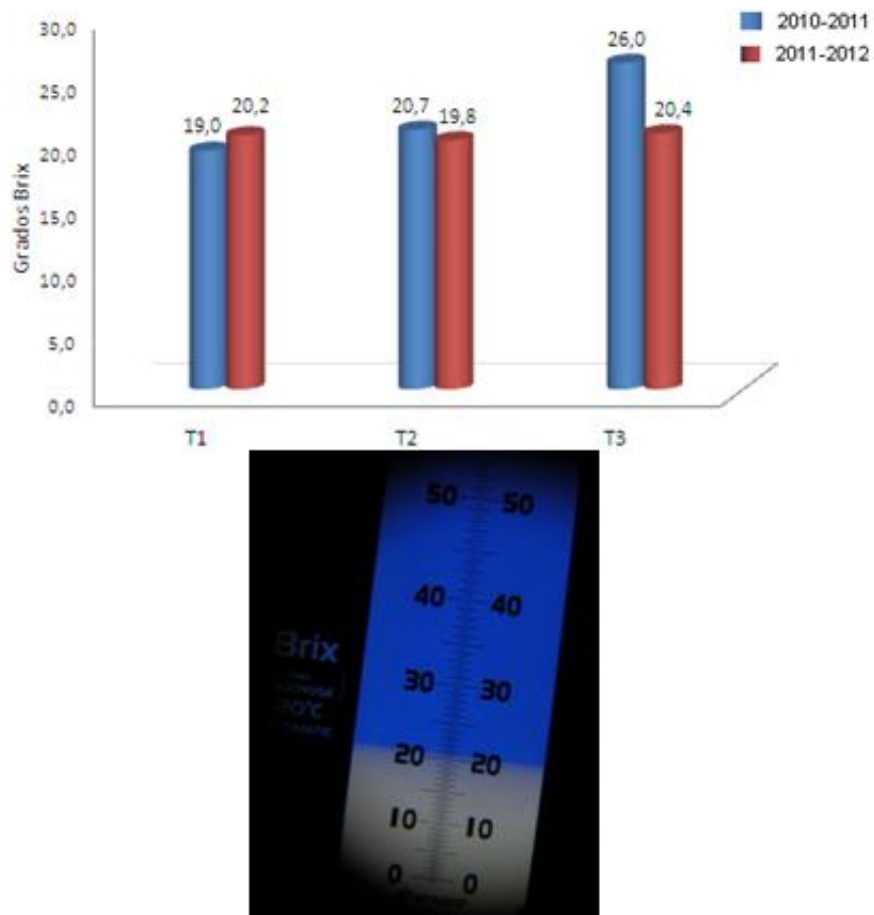


Figura 28. Comparación de la calidad del mosto de la producción de las gestiones 2010-2011 y 2011-2012

Realizando una comparación entre las dos gestiones (Figura 28), se observa claramente que en la gestión 1, hubo una concentración de azúcar ligeramente superior en T1 y T2 y una mayor diferencia en T3 en relación a la gestión 2, lo cual podría ser respaldado por lo señalado por Smart y Coombe, mencionados por Pire *et al.* (1989), quienes indican que,

un déficit hídrico moderado puede favorecer a la acumulación de azúcar en la vid al disminuir el crecimiento vegetativo y permitir mayor tasa fotosintética en las hojas inferiores.

Aparentemente, los tratamientos más secos aumentaron la concentración de azúcar en la baya coincidiendo con un volumen de fruto menor en la gestión 2010-2011 y en la gestión 2011-2012, se destaca que el diámetro de las bayas no afectó el contenido total de azúcar ya que no se observaron diferencias significativas con los otros tratamientos a los cuales se aplicaron mayor cantidad de agua. Lo que sí se puede destacar es que el diámetro de bayas fue menor en la gestión 2 comparada con la gestión 1. Al respecto Gurovich y Vergara (2005), señalan que en la etapa III de crecimiento del fruto, correspondiente a post-pinta y maduración de la baya, el déficit hídrico afecta negativamente la acumulación de azúcares y compuestos fenólicos, debido a la restricción en la tasa fotosintética neta. Los mismos autores señalan que en la etapa de post-cosecha, el déficit hídrico excesivo provoca un adelanto de la lignificación del sarmiento y en casos extremos, provoca defoliación prematura de la planta, inhibe el crecimiento de las raíces y afecta negativamente la traslocación de reservas fotosintéticas hacia la base de la parra.

Es necesario señalar que en las dos temporadas, hubo restricción hídrica en los tratamientos 2 y 3 en la época seca del ciclo, coincidiendo esta con la fase de floración y la primera fase de cuaja del cultivo. Matocq (2004), en un estudio realizado en vid para evaluar las diferentes alternativas de control de rendimiento, menciona que análisis de mostos, previo a la vinificación, muestran que tratamientos con restricción hídrica temprana presentan niveles de azúcar inferiores a los mostos que no presentan restricción hídrica. De la misma manera, Pire *et al.* (1989), mencionan que, cuando las uvas alcanzan un contenido alto de azúcar, tienden a agrietarse si obtienen agua fácilmente disponible. Es por ello que diversos autores recomiendan mantener el suelo con bajos niveles de humedad en la época de cosecha para reducir el agrietamiento y la pudrición de los frutos, por lo que fue necesario suspender el riego en esta etapa, pero no se pudo evitar el aporte de agua por precipitaciones.

5.8 Variables de Productividad del agua

A partir de las relaciones establecidas entre los parámetros de cosecha y el total de lámina aplicada por tratamiento, se establecieron los índices que se presentan en las ecuaciones 4 y 5, con el fin de analizar el comportamiento de la productividad del agua entre tratamientos al momento de la cosecha, periodo en el cual se refleja en realidad el rendimiento de cultivo que principalmente se traduce en peso y calidad.

Con la información obtenida en el trabajo de campo (Tabla 17), se elaboró la curva de respuesta productiva en función al agua (Figura 29).

Tabla 17. Volúmenes de agua aplicada y producción total en vid.

Tratamientos de Riego	2010-2011		2011-2012		Promedio	
	Volumen de agua (m ³ ha ⁻¹)	Producción (Mg ha ⁻¹)	Volumen de agua (m ³ ha ⁻¹)	Producción (Mg ha ⁻¹)	Volumen de agua (m ³ ha ⁻¹)	Producción (Mg ha ⁻¹)
100% ETo	7425	52,4	6778	60,9	7101,5	56,65
75% ETo	6652	46,8	5939	47,9	6295,5	47,35
50% ETo	5879	34	5211	49,4	5545	41,7

Fuente. Elaboración propia en base a datos de campo en las gestiones 2010-2011 y 2011-2012

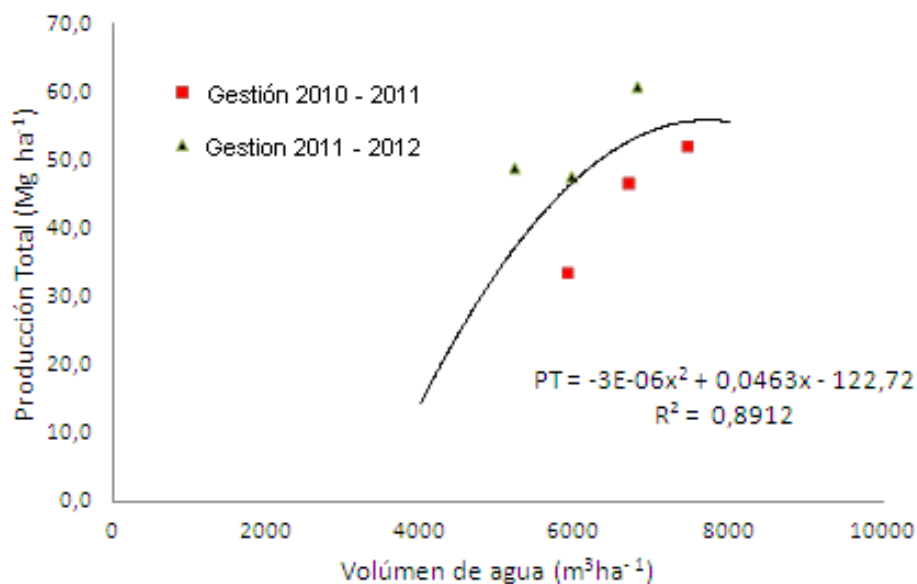


Figura 29. Función de Producción de la Vid var. Moscatel de Alejandría

Mediante el análisis de regresión se han buscado funciones que relacionan el agua de riego recibida por el cultivo, variable independiente, con el valor de rendimiento del cultivo, variable dependiente. La curva de Función de Producción de la Vid seleccionada para la Comunidad de Porvenir. Esta curva, polinómica de segundo grado que muestra un valor de coeficiente de determinación R^2 igual a 0,89, está basada en el promedio de las dos gestiones estudiadas tanto en el volumen aplicado de agua (insumo utilizado), como la producción obtenida en cada gestión. Esta curva promedio es expresada con la siguiente fórmula:

$$PT = -3^{-06} X^2 + 0,0463 X - 122,72 \quad (12)$$

Donde PT es la Producción Total y X es el volumen total de agua aplicada (volumen de agua de riego en $m^3 ha^{-1}$ más la precipitación efectiva). Al remplazar el valor de X con distintos valores de volúmenes de agua se puede estimar la producción de la vid para una cierta cantidad de agua aplicada.

El rendimiento de la vid aumentó mientras se incrementó la lámina de riego, el efecto es polinómico, después de una lámina de riego mayor que el 100 % de la ETo, el rendimiento de fruto tiende a estabilizarse o a decrecer.

La correlación encontrada entre el rendimiento y el agua total aplicada para todos los tratamientos fue positiva y con valor de R^2 aceptable, por lo que solamente se puede asumir que el rendimiento de este cultivo se incrementa con el aumento del agua aplicada. El valor del coeficiente de determinación (R^2) para esta relación fue alto ($R^2=0,89$). Otros autores proponen una relación sigmoideal entre el rendimiento y el agua aplicada mediante el riego (Botzan, 1970; Musick y Dusek, 1971; Martin *et al.*, 1984, Santa Olalla y Valero, 1993), mencionados por Gonzales *et al.*, 2010, lo que para este estudio fue imposible determinar porque los rangos de agua aplicada no llegaron a ser aportes excesivos en la gestión 2011-2012, esto imposibilita determinar el límite técnico superior y solo podemos asumir en base a la media obtenida entre las dos gestiones.

El valor máximo de rendimiento en los dos experimentos realizados, se obtuvo en la gestión 2011-2012, en el tratamiento 1 con una lamina de riego calculada en base al 100% de la ETo, donde se alcanzo un rendimiento de 6,1 kg m⁻². El objetivo de este estudio es el de encontrar una Máxima Producción con una cantidad Mínima de Insumo (agua), para ello se busca el Máximo de Productividad (Figura 30), para ello, se reemplaza datos en la ecuación 12, con lo cual se calcula teóricamente los valores máximos de Productividad Total y Productividad media (Tabla18).

Tabla 18. Productividad total y marginal para diferentes niveles de riego en el cultivo de vid, variedad Moscatel de Alejandría

Volumen de agua (m ³ ha ⁻¹)	Productividad Total (Mg ha ⁻¹)	Productividad Media (kg m ⁻³)	Productividad Marginal (kg m ⁻³)
3400	0,0	0,00	24,10
4000	14,5	3,62	20,80
4500	24,9	5,53	17,80
5000	33,8	6,76	14,80
5500	41,2	7,49	10,30
6000	47,1	7,85	8,80
6500	51,5	7,92*	5,80
7000	54,4	7,77	2,80
7500	55,8	7,44	0,65
7717	55,9*	7,25	0,00
8000	55,7	6,96	-0,85

* Valores máximos de Productividad Total y Productividad Media

El Máximo de Productividad o Producción Total por hectárea es el punto en el que la Productividad Marginal es igual a 0. Para estimar la Productividad Máxima matemáticamente, se calcula la primera derivada de la ecuación 12, cuyo resultado es de 55,9 Mg ha⁻¹, obteniendo este valor con una cantidad de 7717 m³ de agua. Con este resultado podríamos suponer que en zonas con características climáticas y de suelo similares a las de la zona estudiada, no sería conveniente realizar aplicaciones de agua superiores a 7717 m³ ha⁻¹ debido a que este hecho no supondría el aumento en la producción de uva var. Moscatel de Alejandría. Por otro lado, la Mayor Productividad Media (7,92 kg m⁻³), se obtiene con 6500 m³, con lo cual se logra la mayor producción por metro cubico de agua aplicada, pero se obtiene 51,5 Mg ha⁻¹ de Producción Total.

Estos resultados podrían ser explicados por Howell *et al.* (1997) y Zwart (2004), mencionados por Gonzales *et al.*, 2010, quienes en experimentos con diferentes niveles de riego demostraron que el riego deficitario usualmente tienen valores más altos de Productividad del Agua que los tratamientos bajo riego durante todo el período vegetativo del cultivo. También, Osorio (s/f), en investigaciones realizadas en vid cultivar Flame Seedless, encontró que el máximo de la productividad media ($3,9 \text{ kg ha}^{-1}$) es obtenido con 2619 m^3 de agua por hectárea y con esta cantidad de agua obtiene una producción total de $10,38 \text{ Mg ha}^{-1}$, valor menor que la Producción Total del cultivo (16 Mg ha^{-1}).

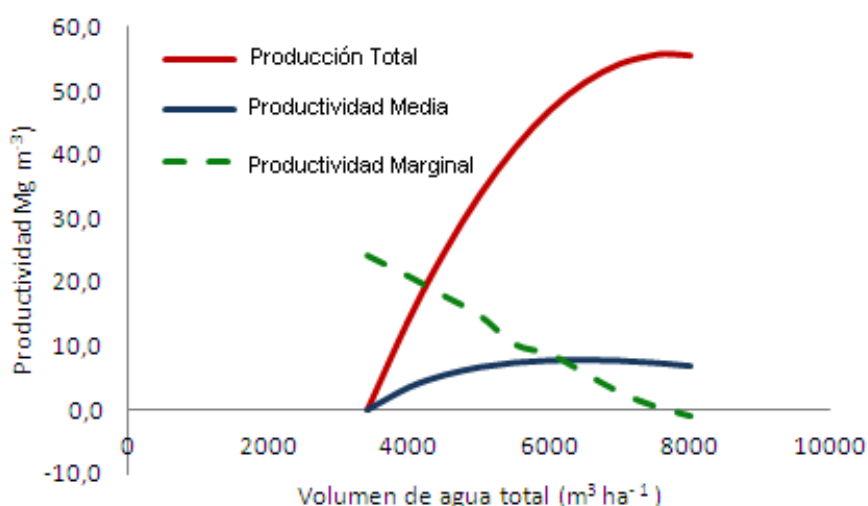


Figura 30. Curvas de Productividad Total, Productividad Media y Productividad Marginal de la vid var. Moscatel de Alejandría en la Comunidad de Porvenir

El producto marginal es definido como la producción adicional obtenida cuando se incrementa la cantidad de riego en una unidad. En esta investigación, la función del Producto Marginal es negativa y no se conoce el valor máximo, pero se asume matemáticamente que una aplicación de 3400 m^3 de agua, obtiene una producción igual a 0 y el incrementando de un m^3 de agua por sobre este valor, producirá una variación de 24 kg m^3 en la producción total, con lo cual este es el máximo valor de la Producción Marginal.

5.9 Índice de Eficiencia del Uso de Agua de la Vid

Los resultados referidos a la eficiencia del uso de agua, están consignados en las tablas 19 y 20, para la primera y segunda gestión, respectivamente.

Tabla 19. Relación entre volumen de agua y rendimiento de uva e Índice de Eficiencia de Uso del Agua, gestión agrícola 2010 - 2011.

TRATAMIENTO	Relación entre volumen de agua aplicada y Rendimiento		Relación entre volumen de agua aplicada y Rendimiento		Índice de eficiencia del uso de agua	
	(l m ⁻²)	(kg m ⁻²)	(m ³ ha ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹)	(Mg m ⁻³)	kg m ⁻³
T 1	742,26	5,20	7422,6	52,00	0,00701	7,0
T 2	665,16	4,70	6651,6	47,00	0,00707	7,1
T 3	587,66	3,40	5876,6	34,00	0,00579	5,8

La cosecha de uva en esta gestión fue realizada a partir del 22 de abril de 2011 por dos días, obteniéndose valores promedios en rendimiento de 5,2 kg m⁻² en T1, 4,7 kg m⁻² en T2 y 3,4 kg m⁻² en T3. Con estos datos se determinó la eficiencia de uso de agua relacionando la productividad con la cantidad de agua aplicada al cultivo.

Considerando los promedios de los aportes de agua al suelo tanto por la precipitación pluvial efectiva así como por el riego, en el tratamiento 1 se tiene el mayor volumen de agua con 7425 m³ ha⁻¹, siguiéndole el tratamiento 2 con 6652 m³ ha⁻¹ y finalmente el tratamiento 3 con el menor volumen de agua 5879 m³ ha⁻¹. Los índices de eficiencia de agua promedio siguen esa tendencia, siendo que en el tratamiento 1 se obtuvo el valor promedio más alto con 7,06 kg de uva por m³ de agua, en el tratamiento 2 se alcanzó 7,04 kg de uva por m³ de agua, prácticamente igual en que en T1, y en el tratamiento 3 se obtuvo 5,8 kg de uva por m³ de agua.

Tabla 20. Relación entre volumen de agua y rendimiento de uva e Índice de Eficiencia de Uso del Agua, gestión agrícola 2011 - 2012.

TRATAMIENTO	Relación entre volumen de agua aplicada y Rendimiento		Relación entre volumen de agua aplicada y Rendimiento		Índice de eficiencia del uso de agua	
	(l m ⁻²)	(kg m ⁻²)	(m ³ ha ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹)	(Mg m ⁻³)	kg m ⁻³
T 1	677,77	6,10	6777,7	61,00	0,0090001	9,0
T 2	593,96	4,79	5939,6	47,90	0,0080644	8,1
T 3	521,10	4,94	5211,0	49,40	0,0094799	9,5

Para la gestión 2011 – 2012, de acuerdo con la Tabla 20, en el tratamiento 1 el volumen de agua aplicado fue 6778 m³ ha⁻¹, siguiéndole el tratamiento 2 con 5939 m³ ha⁻¹ y el menor valor se obtuvo en el tratamiento 3 con 5211 m³ ha⁻¹. Respecto a los índices de eficiencia de agua promedio, cabe indicar que no siguieron esa tendencia, obteniéndose en el tratamiento 3 el valor promedio más alto con 9,48 kg de uva por m³ de agua, en el tratamiento 1 se alcanzó 9,98 kg de uva por m³ de agua y en el tratamiento 2 se obtuvo 8,06 kg de uva por m³ de agua.

Conforme los resultados alcanzados los mayores valores de eficiencia de uso del agua se obtuvieron para la gestión agrícola 2011 – 2012, y dentro de esta se alcanzó el valor más alto en el tratamiento 3, donde la lámina de agua fue equivalente al 50% de la ETo. Sin embargo, tal como se indicó anteriormente, el tamaño y calidad de las bayas fueron mejores en la gestión 2010 – 2011, así como los volúmenes de riego fueron mayores en dicha gestión en razón a la tendencia de los agricultores en aplicar láminas de agua mayores, tal como se explicó en párrafo anterior.

Estos resultados pueden ser explicados por el hecho de que en la primera gestión, la humedad del suelo estuvo por encima de la capacidad de campo, en la fase de brotación y floración del cultivo, lo cual podría haber afectado la calidad de producción de la siguiente gestión, tal como es mencionado por el Grupo de Investigación en Viticultura UPM (s/f), quienes indican que uno de los efectos más negativos es un crecimiento

vegetativo desmesurado que se traduce tanto en rapidez de crecimiento del pámpano como en una fuerte emisión de nietos. La rapidez de crecimiento provoca entrenudos muy largos y hojas grandes lo que supone que para una misma longitud total de pámpano tengamos menos hojas, muy grandes y muy similares en cuanto a edad, lo que ocasiona que envejeczan al mismo tiempo, afectando directamente la maduración del racimo en sus últimas fases.

Por otro lado, el exceso de desarrollo vegetativo en la fase de brotación produce un mayor consumo de agua del suelo, al haber mayor superficie transpirante y acentúa el déficit hídrico en épocas posteriores en las que el agua disponible por a la planta es escasa, como durante la maduración de los racimos.

5.10 Programación de Riego Deficitario Controlado

Con la programación del riego, se pretende determinar el nivel óptimo de agua a aplicar en cada periodo fenológico de la vid con el objetivo de maximizar la producción y obtener un producto de calidad definida, según sea el requerimiento (uva de mesa o uva para la elaboración de vinos y singanis). Para ello se utilizo el método del balance hídrico climático con base en la evapotranspiración de referencia (ET_o Penman-Monteith) y la cantidad de agua que puede almacenar el suelo en la zona de raíces.

Para realizar los cálculos del requerimiento de riego del cultivo y la elaboración de calendarios de riego para diferentes condiciones de manejo del cultivo, se utilizó el programa CROPWAT 8.0 para Windows, estos cálculos son realizados en base a datos climáticos y de cultivo.

Para el cálculo de los Requerimientos de Agua del Cultivo (RAC), CROPWAT requiere de datos de evapotranspiración (ET_o). CROPWAT permite al usuario ingresar valores de ET_o, o ingresar datos de temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación solar, lo cual permite al programa CROPWAT calcular la ET_o aplicando la ecuación de Penman-Monteith.

También son necesarios los datos de precipitación, y son utilizados por CROPWAT para calcular la precipitación efectiva como datos de entrada para el cálculo de los RAC y de la programación de riego. Por último, datos de cultivos son necesarios para los cálculos de los RAC, y también datos de suelo si el usuario también desea determinar la programación de riego.

En la siguiente Tabla, se presenta el requerimiento de riego del cultivo calculado por el programa cuyo valor es de 332 mm. Los Kc utilizados para el cálculo de la ETc, son los recomendados por Allen *et. al* (2006) cuyos valores son de 0,30, 0,70 y 0,40 para uva. La precipitación efectiva fue calculada al 90%, tal como se realizó en el trabajo de campo.

Tabla 21. Requerimiento de riego del cultivo de uva por década.

Mes	Década	Etapas	Kc coeficiente	ETc mm día ⁻¹	ETc mm dec ⁻¹	Prec, efec mm dec ⁻¹	Req, Riego mm dec ⁻¹
Abr	2	Inic	0,45	1,6	9,6	4,6	2,6
Abr	3	Inic	0,3	1,02	10,2	5,1	5,1
May	1	Inic	0,3	0,97	9,7	0,1	9,6
May	2	Inic	0,3	0,93	9,3	0	9,3
May	3	Inic	0,3	0,88	9,7	0	9,7
Jun	1	Inic	0,3	0,83	8,3	0	8,3
Jun	2	Inic	0,3	0,79	7,9	0	7,9
Jun	3	Inic	0,3	0,78	7,8	0	7,8
Jul	1	Inic	0,3	0,77	7,7	0	7,7
Jul	2	Inic	0,3	0,77	7,7	0	7,7
Jul	3	Inic	0,3	0,84	9,2	0	9,2
Ago	1	Inic	0,3	0,91	9,1	0	9,1
Ago	2	Inic	0,3	0,98	9,8	0	9,8
Ago	3	Inic	0,3	1,04	11,4	0,1	11,3
Sep	1	Inic	0,3	1,1	11	0,6	10,3
Sep	2	Inic	0,3	1,15	11,5	0,9	10,6
Sep	3	Inic	0,3	1,25	12,5	1,5	11
Oct	1	Des	0,31	1,39	13,9	2,1	11,8
Oct	2	Des	0,39	1,88	18,8	2,6	16,2
Oct	3	Des	0,49	2,45	26,9	3,1	23,9

Mes	Década	Etapas	Kc coeficiente	ETc mm día ⁻¹	ETc mm dec ⁻¹	Prec, efec mm dec ⁻¹	Req, Riego mm dec ⁻¹
Nov	1	Des	0,59	3,09	30,9	1,2	29,7
Nov	2	Med	0,67	3,66	36,6	0,5	36,1
Nov	3	Med	0,68	3,48	34,8	10,3	24,5
Dic	1	Med	0,68	3,22	32,2	24,1	8,2
Dic	2	Med	0,68	3,02	30,2	34,1	0
Dic	3	Med	0,68	2,95	32,4	31,6	0,8
Ene	1	Med	0,68	2,88	28,8	26,2	2,6
Ene	2	Med	0,68	2,81	28,1	24,3	3,8
Ene	3	Med	0,68	2,77	30,5	29,2	1,2
Feb	1	Med	0,68	2,73	27,3	37,9	0
Feb	2	Med	0,68	2,69	26,9	43,6	0
Feb	3	Med	0,68	2,67	21,4	35,7	0
Mar	1	Med	0,68	2,65	26,5	25,7	0,9
Mar	2	Fin	0,67	2,59	25,9	18,9	6,9
Mar	3	Fin	0,59	2,23	24,5	15,3	9,2
Abr	1	Fin	0,51	1,86	18,6	11,7	6,8
Abr	2	Fin	0,45	1,6	6,4	3	2,6
					684	394	332,2

Fuente. Elaboración propia con la utilización del programa CROPWAT 8.0

De acuerdo a las condiciones climáticas registradas en las dos gestiones, las características del suelo de la parcela estudiada y los resultados que se obtuvieron con relación al rendimiento y productividad del agua, se recomienda comenzar con la aplicación de riego, la segunda semana de septiembre, con una lamina neta de 101 mm, con la cual se rompería la dormancia del cultivo. El segundo riego con una lámina de 23,5 mm, 22 días después, con el fin de mantener la humedad del suelo, asegurando de esta manera, la brotación uniforme del cultivo. Posteriormente a estas aplicaciones, se recomienda mantener una frecuencia de 10 días debido a que el cultivo se encontraría en la etapa de desarrollo (fases de floración y formación de bayas), cuyas fases son muy sensibles al déficit hídrico y este periodo coincide con la época seca en la zona (ver Tabla 22).

A partir de la tercera semana de diciembre, la frecuencia de riego, se reduce, llegando a aplicarse el último riego una lamina de 3,6 mm, en la primera semana de abril y con ello evitar la caída prematura de las hojas. A partir del tercera semana de diciembre, se suspende la aplicación de riego puesto que a partir de este periodo comienza la época de lluvias con las cuales se cubren las necesidades hídricas del cultivo.

Tabla 22. Lamina neta, consumos medios del cultivo, caudal y tiempo de riego.

Fecha	Día	Frecuencia (días)	Etap	Agotamiento (%)	Lámina Neta (mm)	Consumos medios del cultivo de uva ($l\ m^{-2}\ dia^{-1}$)	Caudal ($l\ s^{-1}ha^{-1}$)	Tiempo de riego (hr)
15-Sep	154	211	Ini	55	101	0,6	0,11	8,1
07-Oct	176	22	Des	21	23,5	1,1	0,18	8,5
17-Oct	186	10	Des	17	14,4	1,4	0,24	8,6
27-Oct	196	10	Des	19	19,4	1,9	0,32	8,7
06-Nov	206	10	Des	23	27,7	2,8	0,46	8,6
16-Nov	216	10	Med	25	33,4	3,3	0,55	8,7
25-Nov	225	9	Med	22	26	2,9	0,48	8,6
04-Dic	234	9	Med	15	11,2	1,2	0,21	8,5
22-Dic	252	18	Med	12	4	0,2	0,04	7,9
06-Abr	357	105	Fin	12	3,6	0,034	0,01	4,9
14-Abr	Fin		Fin	11				
TOTAL					264,2			

Fuente. Elaboración propia con la utilización del programa CROPWAT 8.0

Cabe señalar que la lámina neta calculada, es menor que la aplicada en el tratamiento dos (282 mm) de la primera gestión con cuyo tratamiento se obtuvo un rendimiento de 4,7 $kg\ m^{-2}$, resultado que no mostro diferencia significativa con el tratamiento 1 que tuvo mayor aplicación de agua. En el caso de la segunda gestión, la diferencia entre el requerimiento calculado por el CROPWAT y los obtenidos en el campo con los tres tratamientos, se puede destacar que este valor es mayor que en T2 (208 mm) y T3 (105 mm), pero menor que en T1 (292 mm), de la misma manera no se encontraron diferencias significativas en los rendimientos obtenidos entre los tratamientos.

5.11 Estrategias de Riego deficitario Controlado

Con la finalidad de lograr un uso racional del agua de riego en el cultivo de uva, así como medidas para adoptar y conseguir un adecuado riego deficitario controlado, a continuación se abordan algunas estrategias que se podrían implementar en la zona de estudio, tal como también indica Conceição (2012):

5.11.1 Incremento del intervalo entre riegos

El consumo hídrico en el proceso de evaporación de agua del suelo, de las áreas sin cobertura vegetal no es aprovechado por el cultivo, representando una pérdida de agua. Entre varios factores influye en este aspecto la frecuencia entre riego y riego, de esta manera cuanto mayor es esta frecuencia (principalmente en época seca), menores serán las pérdidas debidas a la evaporación del agua del suelo, toda vez que en la zona de estudio para el riego de viñedos predomina el método de riego por inundación.

La reducción de las pérdidas de agua por evaporación se da como efecto de tener una menor humedad en la superficie y por la formación de una capa seca (como una especie de costra) en la superficie del suelo, que ayuda a conservar el agua en los estratos inferiores. Esta medida puede ser adoptada puesto que la capacidad de almacenamiento de agua del suelo lo permite, especialmente, luego de la incorporación de materia orgánica.

5.11.2 Control de la vegetación de la cobertura del suelo

En las áreas cultivadas con viñas, se recomienda mantener la cobertura vegetal, principalmente en los espacios entre plantas y entre hileras con la finalidad de conservar el suelo, no obstante, la transpiración de dicha vegetación representa una fracción de agua que no es aprovechada por las plantas de uva, lo que puede tornarse un problema en periodos de escasa precipitación, por lo que debe controlarse la altura de desarrollo de estas plantas mediante métodos mecánicos.

5.11.3 Uso de cobertura muerta en el suelo

El uso de cobertura muerta en la superficie del suelo (“mullching”) reduce la evaporación de agua de la superficie del suelo, incrementando la disponibilidad hídrica para las viñas. Como cobertura muerta puede emplearse los rastrojos de otros cultivos (tomate, camote y gramíneas).

5.11.4 Riego en periodos de menor demanda hídrica

Debido a que la demanda de agua de la atmósfera varía a lo largo del día (a causa de la radiación solar, la temperatura del aire, la velocidad del viento), siendo mayor la evaporación en el periodo de final de la mañana e inicio de la tarde, debe evitarse regar en dichas horas.

5.11.5 Riego con déficit hídrico controlado

El riego con déficit hídrico controlado se caracteriza por la aplicación de agua en cantidades inferiores a la evapotranspiración de la viña. Empero, para plantas de uva en formación debe evitarse el déficit hídrico, con la finalidad de permitir un adecuado desarrollo de las plantas. Una vez que las plantas estén bien formadas se puede emplear la estrategia de déficit hídrico en las siguientes situaciones:

- a) Uvas destinadas a la elaboración de vino y/o singani, en este caso el déficit hídrico controlado puede ser usado varias veces durante el periodo de formación de frutos. El estrés hídrico en ese periodo modifica las propiedades de las bayas, haciendo irreversible la reducción del tamaño de baya, aun volviéndose después a aplicar agua. Sin embargo, a pesar de un menor rendimiento de la viña, la reducción de las bayas aumenta la relación cáscara/volumen, resultando normalmente en vinos de mejor calidad. Para el caso de la zona de El Provenir el tratamiento 3 (50% de la ETo) de la gestión 2011-2012, dio los mejores resultados en cuanto a eficiencia de uso de agua y calidad de las uvas para vino y singani.

- b) En Uvas de mesa el riego deficitario puede adoptarse algunas veces, durante el periodo de maduración de los frutos. Bajo esas condiciones, se puede obtener un ahorro de agua, sin afectar la calidad de los frutos y el rendimiento. Para la zona de El Porvenir, considerando la eficiencia de uso del agua, el tratamiento 3 (50% de la ETo) de la gestión 2011-2012, proporcionó los mejores resultados, puesto que se tuvo un ahorro de 157 l m^{-2} con relación al tratamiento 1 y una diferencia de $1,2 \text{ kg m}^{-2}$, entre estos mismos tratamientos.

5.11.6 Riego parcial de la zona radicular

Tal como se mencionó anteriormente en la región de Luribay el método de riego predominante de las viñas es por inundación, no obstante, debido a la carencia de agua y con la finalidad de emplear la técnica de riego deficitario controlado se recomienda utilizar riego por goteo, con dos emisores por planta, con la finalidad de regar en forma alternada una parte del volumen del sistema radicular de la uva, sometiendo a déficits hídricos controlados.

5.11.7 Quiebra de la dormancia del cultivo de uva

En razón a que la cosecha de uva que se realiza en el mes de abril coincide con el inicio del periodo de bajas temperatura en estas zonas, lo que afecta la calidad de los frutos, se sugiere hacer una quiebra de la dormancia de las viñas a través de hormonas, de tal manera de adelantar la fase vegetativa del cultivo y también del periodo de cosecha en unas dos semanas.

Finalmente es necesario indicar que el riego con déficit hídrico controlado debe ser adoptado en función a las características climáticas, del suelo, de la variedad del injerto y portainjerto.

6. CONCLUSIONES

A partir del desarrollo de esta tesis se ha llegado a las siguientes conclusiones

- La aplicación racional de una lámina de agua para riego en el cultivo de uva (*Vitis vinífera* L.) incrementa el índice de productividad en temporadas secas para la zona de Porvenir, Municipio de Luribay. Esta apreciación sugiere que la disminución de las láminas de agua que se aplicaron en la parcela estudiada, aumenta la eficiencia del uso de agua y el rendimiento del cultivo, mejorando de esta manera, rentabilidad del cultivo y consiguientemente, los ingresos para el agricultor.
- En la gestión 2010-2011, el nivel de déficit de riego impuesto en los tratamientos 2 y 3, no fue suficiente para afectar a los parámetros productivos del cultivo en la época de lluvias (coincidiendo con las fases de envero y maduración, hasta la cosecha), pero sí hubo riego deficitario en la época seca (fases de brotación y floración). En la gestión 2011-2012 en los tratamientos 2 y 3, el riego fue deficitario (75% y 50% de la ETo en todo el desarrollo del cultivo).
- El tratamiento 2 en la gestión 2010-2011 ha supuesto un ahorro de agua de riego de 77 mm respecto al tratamiento más regado, manteniendo una producción y calidad sin diferencias significativas entre uno y otro tratamiento. En 2011-2012, T2 tuvo un ahorro de agua de riego de 83 mm con respecto a T1, sin embargo en esta gestión, la calidad en el tratamiento menos regado fue muy afectado por la disminución del riego, mas no así en el rendimiento ya que esta variable, no mostro diferencias significativas entre tratamientos.
- Por medio de la evaluación de las, la laminas de riego en las dos gestiones estudiadas, se estableció que en el caso del rendimiento en T1 (52 Mg ha⁻¹) y T3 (33,97 Mg ha⁻¹) en la gestión 2010 y 2011, si hubo diferencias significativas. En la gestión 2011-2012, T1 (61 Mg ha⁻¹) obtuvo uno de los más altos rendimientos y la

disminución de la lamina de riego en los tratamientos 2 y 3 influyó en los resultados de calidad, principalmente.

- A través de la realización de balances hídricos dentro de un rango de 6 a 18 días, se determinaron las diferentes láminas de agua requeridas, dependiendo de la ETo de cada periodo y se demostró las desventajas de aplicar altos volúmenes de agua sin tener en cuenta la capacidad de retención del suelo disminuyendo la eficiencia en el uso de agua y consiguientemente, el rendimiento del cultivo. De igual forma, se mostró que manejar láminas de agua que se encuentren dentro del rango de agotamiento permisible es adecuado para mejorar el peso del racimo al momento de la cosecha.
- Los índices de productividad que se formularon y evaluaron para este ensayo, muestran que el tratamiento con mejor índice de producción corresponde al tratamiento 3 (50% de la ETo) de la gestión 2011-2012, lo que indica que si se disminuye la lámina de agua con respecto al tratamiento 1 (100% de la ETo) en 50%, se generan beneficios tanto a nivel fisiológico como a nivel de costos de producción. Esta afirmación se demuestra con el parámetro de eficiencia de uso de agua cuyo valor muestra que para producir 9,5 kg de fruto, se requiere 1 m³ de agua.
- Siendo que al productor le interesa obtener una producción máxima con la mínima cantidad de insumos, se pudo evidenciar en la función de producción que se obtuvo un mejor rendimiento en la gestión 2011-2012 con un valor de 61 Mg ha⁻¹ con la aplicación de 6778 m³ de agua, por lo tanto toda agua adicional será un gasto extra en el que estará incurriendo el agricultor y que no le reportara mayores beneficios.
- Se evidencio que ante una estrategia de riego deficitario controlado se genera una serie de respuestas en cuanto a calidad del mosto, siendo el tratamiento del 50%, en la gestión 2010, el que obtuvo mayores condiciones para la fabricación de

vinos y singanis debido a su alto contenido de grados Brix (26 °Brix), T1 y T2 con una mejor calidad del fruto, para la comercialización como uva de mesa.

- El “Uso Eficiente del Agua de riego” requiere un conocimiento ajustado de las necesidades hídricas de cada uno de los cultivos a lo largo de todo su ciclo, disponer de un sistema de riego adecuado que permita ponerla a disposición de las plantas de forma uniforme dentro de la parcela de cultivo y de acuerdo a su ritmo de absorción, conocer la sensibilidad de cada cultivo al déficit hídrico en cada uno de los estados fenológicos, y determinar la disponibilidad inicial de agua en el suelo para las plantas, así como cuantificar los aportes de lluvia.
- La velocidad de infiltración del suelo estudiado es baja y está en relación directa con la textura, estructura y contenido de materia orgánica del suelo, por lo que el riego se debe efectuar con pequeños caudales y frecuencias menores.
- A partir de los potenciales mátricos determinados en laboratorio se puede elaborar la curva de retención de agua, la cual puede servir para efectuar el calendario de riegos del cultivo de vid.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda, antes de realizar cualquier trabajo en el manejo de la plantación, principalmente en el riego, definir el destino de la producción de uva, ya sea este para uva de mesa o para la elaboración de vinos y singanis, debido a que de ello depende la manera de aplicación del RDC.
- Se recomienda evaluar láminas de riego superiores al 100% e inferiores a 50%, para todo el ciclo fisiológico de la planta, con el fin de obtener la curva completa y analizar la variación de requerimientos hídricos por parte de la planta, dependiendo de su estado de desarrollo. De igual manera, se recomienda la utilización de instrumentos como tensiómetros para corroborar los niveles de humedad que se reflejan mediante el análisis de balance hídrico.

8. LITERATURA CITADA

1. ALLEN, R. G, PEREIRA, L. S, RAES, D., SMITH M. 2006. Evaporación del cultivo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 298 p.
2. ARAGUEZ, J. 2011. Calidad del Agua Para el Riego: Efectos sobre plantas y suelos. Zaragoza, España. Pp: 18-23.
3. AYERS, R.S., D.W. WESTCOTT. 1985. Calidad del agua para la agricultura. FAO. Riego y Drenaje Paper 29. Rev. 1, Roma. Italia. 174p.
4. BEPLER, S., R. 2007. Influência das Características físicas do solo nas perdas de água por escoamento superficial no sul do Brasil e Uruguai. Tesis de Doctorado. Universidad Federal de Santa María – Brasil. 106 P.
5. CHIPANA, R., R. 1996. Principios de Riego y Drenaje. IRTEC. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. pg. 37-52.
6. DOOREMBOS, J. KASSAM, A., H. 1996. Yield Response to Water. Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 33).
7. FAO. 2003. Agricultura 21; Enfoques; Revista Gestión Moderna del Riego Departamento de Agricultura. FAO, Roma.
8. FAO. 2009. Guía para la Descripción de Suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Cuarta Edición. Roma. 111 p.
9. FERREYRA, R.; SELLES, G.; BURGOS, L.; VILLAGRA, P.; SEPULVEDA, P.; LEMUS, G. 2010. Manejo del riego en frutales en condiciones de restricción hídrica. Boletín INIA N° 214, Santiago de Chile. 100 p.

10. FERREYRA, R.; SELLES, G.; SILVA, H.; AHUMADA, R.; MUÑOZ, I.; MUÑOZ, V. 2006. Efecto del Agua Aplicada en las Relaciones Hídricas y Productividad de la Vid "Crimson Seedless". Pesquisa. agropecuaria. brasileira., Brasília, v.41, n.7, p.1109-1118.
11. FONSECA, M. A. 2000. Cultivo de uvas de mesa. Editores Conceicao A. y De Souza L. Sao Paulo Brasil. 328 p.
12. GIRONA, J. 1994. Manejo de Riego en Vides para Vino en España. Área de Tecnología Frutícola. Centre UdL-IRTA. Lleida, España. 27 p.
13. GONZALES, F.; HERRERA, J.; LOPEZ, T. 2010. Ciencias Técnicas Agropecuarias Vol. 19 N° 1, p. 65 - 72.
14. GONZÁLEZ, C. 1992. Fuentes de Exceso de Agua II Curso Taller de Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos Universidad Nacional de Colombia.
15. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN VITICULTURA UPM (s/f). Gestion del Riego en Viñedos de Vinificación. 21 p.
16. GUTIERREZ, A., V.; SAENZ, P., D. (s.f). Balances Agrícolas en distintas regiones Vitivinícolas de la Provincia de Tenerife. Islas Canarias. Universidad de Laguna.
17. GUROVICH, L.; VERGARA, M. (2005). Riego Deficitario Controlado. La clave para la expresión del Terroir de Vinos Premium. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile. 25 p.
18. GUROVICH, L.; PAEZ, C. 2004. Influencia del Riego Deficitario sobre el desarrollo de las bayas y la composición química de los mostos y vinos. Articulo de investigación. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile. 12 p.

19. GUZMAN, G., S. 2010. Evaluación de la Productividad del agua en el cultivo de Banano (*Mussa AAA Simonds*) para la zona de Santa Marta, por Medio de la Variación de tres Coeficientes de Cultivo (Kc). Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. 92 p.
20. INIA, CHILE. Riego Deficitario Controlado en Frutales. 43 p.
21. INTA. INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA. 2008. La poda de la vid, Estación Experimental Agropecuaria Mendoza - Argentina. 34 p.
22. INTRIGLIOLO, D.S., S. PEDRÓN y J.R. CASTEL. 2004. Efecto del riego: dosis y sistema de aplicación (PRD) en las relaciones hídricas y la producción de la vid cv. Tempranillo en Requena. *Actas de la Reunión Anual del Grupo Experimentación en Viticultura y Enología*. Orense.
23. KfW (ENTWICKLUNGSBANK). 2009. Cooperación Financiera Alemana. (en línea). Alemania. Consultado 9 ago. 2010. Disponible en: <http://www.kfw-entwicklungsbank.de>
24. LOPEZ– LOPEZ, R.; VASQUEZ, M.; SANCHEZ, I. 2009. Producción de tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.) basado en láminas de riego y acolchado plástico. Artículo Científico. Revista Chapingo, Serie Horticultura. México. 7 p.
25. MACIAS, R.; GRIJALVA, R.; ROBLES, F. 2010. Artículo Científico. Efecto de tres volúmenes de agua en la productividad y calidad de tomate bola (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. Bio – técnica Vol. XII. México. 9 p.
26. MARTÍ N, F. y DE JUAN VALERO, J. 1993. Agronomía del riego. Madrid, España Mundi Prensa. p. 21-69.

27. MATOCQ, G. 2004. Evaluación de diferentes alternativas de Control de Rendimientos en Vitis Vinifera C.V. Syrah. Tesis de Maestría. San Juan, Argentina.
28. MORALES, P.; MORALES, G. 1995. Cultivo de Uva. Boletín Técnico N° 6. Segunda Edición. Santo Domingo, Republica Dominicana. 35 p.
29. NAVARRETE, O. 2003. Deshidratación Prematura en bayas de Vitis Vinifera c.v. Merlot: Efecto de la Disminución del Área Foliar y de un Antitranspirante. Tesis. Universidad de Talca. Chile. 49 p.
30. OLIAS, M.; CERON J. C.; FERNANDEZ, I. 2005. Sobre la Utilización de las aguas de Riego del US Laboratory Salinity (USLS). Geogaceta 37. Pg. 111 – 113.
31. ORTEGA-FARIAS, S., CALDERON, R., ACEVEDO., FUENTES, S. 2000. Estimación de la Evapotranspiración real diaria de un cultivo de tomates usando la ecuación de Penman Monteith. Ciencia e investigación Agraria. Vol. 27 N° 2.
32. ORTEGA-FARIAS, S.; CARRASCO, M. (S/F). Sistema de Programación de Riego Usando Estaciones Meteorológicas Automáticas. Universidad de Talca. Chile. 15 p.
33. OSORIO, A. (s/f). Respuesta Productiva de la Vid. Tecnología Práctica. Tasas de Riego. Tierra Adentro. INIA Intihuasi. Santiago de Chile. 4 p.
34. PALMA, F., J. 2005. Manejo de Riego y Suelos en Vides para Vino y Mesa. Fertiriego en Uva de Mesa. Santiago de Chile.
35. PANIAGUA, R., A. 2002. Estudio de Identificación, Mapeo y Análisis Competitivo del Cluster de Uvas, Vinos y Singanis en Bolivia. Programa Andino de Competitividad. Tarija, Bolivia. P. 6 – 7.

36. PEREZ, B., M. 2002. Densidad de Plantación y Riego: Aspectos Ecofisiológicos, Agronómicos y Calidad de la Uva en c.v. Tempranillo (*Vitis Vinifera L.*). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 304 p.
37. PIRE, R.; FREITEZ, Y.; de PIRE, M.; TORTOLERO, E. 1989. El Riego de la Vid (*Vitis vinífera L.*) en el Tocuyo, Edo. Lara. III. Respuestas del Cultivo. Agronomía Tropical. Vol. 39. Venezuela.
38. PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL DEL MUNICIPIO DE LURIBAY. 2005.
39. RUBIO, C. (2002). Riego y Aclareo de Racimos. Efectos de la actividad Fisiologica en el Control del Rendimiento y en la Calidad de la Uva del c.v. Tempranillo (*Vitis vinífera L.*). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 218 p.
40. SAAVEDRA, F., A. 2000. Ensayo de Riego Deficitario Controlado en Palto (*Persea americana mill*), cv. Hass en la Localidad de Quillota. Universidad Católica de Valparaíso. Chile. 69 p.
41. SACRISTAN, BELTRI, E. (2008). Medida del balance hídrico y estimación del coeficiente Kc en fincas de la Vega Baja del Segura para la mejora de la programación de riegos utilizando técnicas de riego deficitario controlado. Tesis de Grado. España.
42. SANDOVAL, J.; PRADO, A. 2001. Manual para el cultivo de tomate. Proyecto CONCADE, Cochabamba, Bolivia. 39 p.
43. SACRISTÁN, B., E. 2008. Medida del balance hídrico y estimación del coeficiente Kc en fincas de la Vega Baja del Segura para la mejora de la programación de riegos utilizando técnicas de riego deficitario controlado. Murcia – España. 143 p.

44. SELLES, G.; FERREYRA, R. (S/F). Criterios para Controlar el Riego en Uva de Mesa. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chile. 27 p.
45. VIGLIOLA, M. 1986. Manual de Horticultura. 1 ed. Buenos Aires, AR, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 235 p.
46. VITA, F.; LIOTTA, M.; PARERA, C. (s/f). Efecto de Diferentes Laminas de Riego en la Producción de Uva de Mesa cv. Sugaron Seedless. San Juan Argentina. 6 p.

ANEXOS

Anexo 1: Descripción del Perfil del Suelo

Suelos valle "comunidad Porvenir" Departamento de La Paz

Información del lugar de muestreo

I. Información acerca del sitio de la muestra:

- a. Número del perfil: 1
- b. Nombre del suelo:
- c. Clasificación a nivel de generalización amplia:
- d. Fecha de la observación:
- e. Autor(es): David Padilla M.
- f. ubicación:
- g. Altitud: 2675 msnm
- h. Forma del terreno:
 - i) Posición fisiográfica: Terreno en pendiente ligeramente convexa, cerca del lecho del río
 - ii) Forma del terreno circundante: Fuertemente ondulado: Ligeramente ondulado
 - iii) Microtopografía: Ninguna
- i. pendiente donde el perfil está situado: suavemente inclinado
- j. Uso de la tierra: Al tiempo de la observación el terreno se encontraba cultivado de cepas de vid durante 50 años, la fertilización es anual, con abono de bovino y ovino.
- k. Clima:

II. Información general acerca del suelo.

- a. Material originario: Aparentemente derivado de la glaciación
- b. Drenaje: Clase.....
- c. Condiciones de humedad en el perfil:.....
- d. Profundidad a la capa freática: desconocida
- e. Presencia de piedras en la superficie o afloramientos rocosos: Clase 0
- f. Evidencia de erosión: Ninguna visible, pero ligera erosión laminar, debida al riego por surcos.
- g. presencia de sales o alcalis: Ninguna
- h. Influencia humana: Muy ligera, confinada a la capa arable

III. Breve descripción del perfil.

- a. Símbolo del horizonte:
 - Horizonte 1. Ap
 - Horizonte 2. A2
 - Horizonte 3. A3
 - Horizonte 4. B

- Horizonte 5. C1
- b. Profundidad de la parte superior e inferior del horizonte:
- Horizonte 1. Ap (1-21 cm)
 Horizonte 2. A2 (21-49 cm)
 Horizonte 3. A3 (49-84 cm)
 Horizonte 4. B (84-115 cm)
 Horizonte 5. C1 (115-170 cm)
- c. color:.....
- d. Manchas de color: No visibles
- e. Textura:
- Horizonte 1. franco arcilloso, materia orgánica incorporada
 Horizonte 2. franco arcilloso
 Horizonte 3. franco arcilloso - arena fina
 Horizonte 4. Con poca grava, franco arcilloso, ligeramente pedregoso
 Horizonte 5. con poca grava, con pedregones.
- f. Estructura
- i) grado:
- Horizonte 1. Moderadamente débil
 Horizonte 2. Moderadamente
 Horizonte 3. Moderadamente
 Horizonte 4. Moderadamente
 Horizonte 5. Moderadamente
- ii, iii) Clase y tipo de estructura:
- Horizonte 1. En bloques angulares muy gruesos
 Horizonte 2. En bloques angulares muy gruesa
 Horizonte 3. En bloques subangulares
 Horizonte 4. En bloques angulares gruesos
 Horizonte 5. En bloques angulares gruesos 20-50mm
- g. Consistencia
- I. Consistencia en mojado
- a) Adhesividad
- Horizonte 1. Ligeramente Adherente
 Horizonte 2. Adherente
 Horizonte 3. Adherente
 Horizonte 4. Adherente
 Horizonte 5. Ligeramente Adherente
- b) Plasticidad
- Horizonte 1. Ligeramente plástico o plástico
 Horizonte 2. Plástico
 Horizonte 3. Muy plástico
 Horizonte 4. Plástico
 Horizonte 5. Ligeramente plástico
- II. Consistencia en Húmedo

- Horizonte 1. Friable
- Horizonte 2. Friable
- Horizonte 3. Friable
- Horizonte 4. Friable
- Horizonte 5. Friable o firme

III. Consistencia en Seco

- Horizonte 1. Duro
- Horizonte 2. Duro
- Horizonte 3. Duro
- Horizonte 4. Duro
- Horizonte 5. Duro

h. Cutanes (revestimientos de agregados):.....

i. Cementación

- Horizonte 1. Débilmente cementado
- Horizonte 2. Débilmente cementado
- Horizonte 3. Débilmente cementado
- Horizonte 4. Débilmente cementado
- Horizonte 5. Débilmente cementado

j. Poros

a) Clases de abundancia

- Horizonte 1. Muchos
- Horizonte 2. Muchos
- Horizonte 3. Muchos
- Horizonte 4. Muchos
- Horizonte 5. Muchos

b) Clases de diámetro

- Horizonte 1. Finos a medianos
- Horizonte 2. Muy finos a finos
- Horizonte 3. Muy finos
- Horizonte 4. Muy finos
- Horizonte 5. Muy finos

c) Clases de continuidad

- Horizonte 1. Continuos
- Horizonte 2. Continuos
- Horizonte 3. Continuos
- Horizonte 4. Continuos
- Horizonte 5. Continuos

d) Clases de orientación

- Horizonte 1.
- Horizonte 2.
- Horizonte 3.
- Horizonte 4.
- Horizonte 5.

e) Distribución del horizonte

- Horizonte 1. Inped y exped
- Horizonte 2. Inped y exped
- Horizonte 3. Inped
- Horizonte 4. Inped
- Horizonte 5. Inped

f) Morfología de los poros

- Horizonte 1. Vesiculares e intersticiales
- Horizonte 2. Intersticiales
- Horizonte 3. Intersticiales o vesiculares
- Horizonte 4. Intersticiales y vesiculares
- Horizonte 5. Intersticiales y vesiculares

Términos modificadores

- Horizonte 1. Abiertos
- Horizonte 2. Abiertos
- Horizonte 3. Abiertos
- Horizonte 4. Abiertos
- Horizonte 5. Abiertos a cerrados

k. Contenido de fragmentos rocosos y minerales

a) Abundancia

- Horizonte 1. Muy pocos
- Horizonte 2. Pocos
- Horizonte 3. Pocos
- Horizonte 4. Frecuentes
- Horizonte 5. Abundantes

b) Tamaño

- Horizonte 1. Grava
- Horizonte 2. Grava
- Horizonte 3. Grava
- Horizonte 4. Grava
- Horizonte 5. Pedregón - piedra

c) Forma

- Horizonte 1. Redondeada a angular
- Horizonte 2. Angular
- Horizonte 3. Plana angular
- Horizonte 4. Angular, plana, redondeada
- Horizonte 5. Plana y redondeada

d) Naturaleza

- Horizonte 1.
- Horizonte 2.
- Horizonte 3.
- Horizonte 4.
- Horizonte 5.

L. Contenido de nodulos minerales

No diferenciados....

m. Capas endurecidas

.....

n. Contenidos de carbonatos, sales solubles

Horizonte 1. No calcareo

Horizonte 2. No calcareo

Horizonte 3. No calcareo

Horizonte 4. No calcareo

Horizonte 5. No calcareo

o. Restos de actividad humana

Horizonte 1. Remoción del suelo, presencia de guano de bovino

Horizonte 2. Remoción del suelo

Horizonte 3. ...

Horizonte 4. ...

Horizonte 5. ...

p. Rasgos de origen biológico

Horizonte 1. Presencia de lombrices, hormigas

Horizonte 2. Presencia de lombrices

Horizonte 3. ...

Horizonte 4. ...

Horizonte 5. ...

q. Contenido de raíces

Horizonte 1. Raíces finas pocas

Horizonte 2. Raíces gruesa comunes

Horizonte 3. Raíces medias y finas pocas

Horizonte 4. Raíces finas muy pocas y muy finas muy pocas

Horizonte 5. Raíces muy finas, raíces finas muy pocas

r. Naturaleza del limite en el horizonte subyacente

s. pH

Horizonte 1. 6,85

Horizonte 2. 6,46

Horizonte 3. 7,20

Horizonte 4. 7,16

Horizonte 5. 7,00

t. Número de la muestra tomada para análisis

Horizonte 1. (muestra N° 6)

Horizonte 2. (muestra N° 7)

Horizonte 3. (muestra N° 8)

Horizonte 4. (muestra N° 9)

Horizonte 5. (muestra N° 10)

Anexo 2: Análisis físico-químico del suelo

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMON
FAC. CIENCIAS AGRICOLAS Y PECUARIA
"Martín Cárdenas"

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS

Dpto. Ingeniería Agrícola



ANALISIS FISICO DE SUELOS

Interesado: UMSA

Proyecto: FONTAGRO

Procedencia: Municipio Luribay, Prov. Loayza - La Paz

Responsable Estudio: Ing. Roger Chipana V.

No. LAB	540		
Identificación Propietario	David Padilla		
Comunidad	El Porvenir		
Profundidad cm	0-30		
Humedad (W) (%)			
TEXTURA	Y		
ARCILLA (Y) %	46		
LIMO (L) %	39		
ARENA (A) %	15		
Densidad Aparente (Da) gr/cc			
Densidad Real (Dr) gr/cc			
% Capacidad de Campo (0,33 Bar)	35,50		
% Equivalente de humedad (1 Bar)	28,97		
% Punto de Ruptura Capilar (5 Bar)	24,37		
% Pto. Marchitez Reversible (10 Bar)	18,29		
% Pto. de Marchitez Permanente (15 bar)	18,20		
% Agua disponible			
Conductividad Hidráulica (K) cm/hora *			

* = Método Bower (carga constante)

FY = Franco arcilloso

Y = Arcilloso

Fecha: Cbba., Junio de 2012.



ANÁLISIS DE SALINIDAD DE SUELOS

Interesado: UMSA
Proyecto: FONTAGRO
Procedencia: Municipio Luribay, Prov. Loayza - La Paz
Responsable:
Estudio: Ing. Roger Chipana V.

N° LAB		540		
Identificación propietario		David Padilla		
Comunidad		El Porvenir		
Profundidad cm		0-30		
pH (extracto)		7,3		
C.E. Milimhos/cm (extracto)		1,564		
CATIONES me/lt	Ca ⁺⁺	5,00		
	Mg ⁺⁺	7,50		
	Na ⁺	3,40		
	K ⁺	1,30		
ANIONES me/lt	CO ₃ ⁼	0,00		
	HCO ₃ ⁼	3,50		
	Cl ⁻	4,88		
	SO ₄ ⁼	8,82		
Boro ppm		0,12		
C.I.C.		14,1		
R.A.S.		1,36		
P.S.I. *		0,7		

* Método indirecto

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico

RAS: Relación de Adsorción de Sodio

PSI: Porcentaje de Sodio Intercambiable

Fecha: Cochabamba, Junio de 2012.

Clasificación de la Salinidad: Lig. Salino no salino
 no sódico no sódico

Anexo 3: Análisis químico del agua



IBTEN

MINISTERIO DE EDUCACION

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS

INTERESADO : *PROYECTO FONTAGRO*
PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ, Provincia LOAYZA,*
Municipio LURIBAY, Comunidad PORVENIR.

N° SOLICITUD: *113A / 2012*
FECHA DE RECEPCION : *24 / Mayo / 2012*
FECHA DE ENTREGA : *11 / Junio / 2012*
N° Factura : *5455 / 2012*

FACULTAD DE AGRONOMÍA - UMSA

DESCRIPCIÓN : *Muestra de agua - Comunidad Porvenir.*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
301-01 /2012	pH	6,96	-	Potenciometría
301-02 /2012	Conductividad eléctrica	541,00	μS/cm	Potenciometría
301-03 /2012	Sodio	14,77	mg / L	Flamometría
301-04 /2012	Potasio	4,37	mg / L	Flamometría
301-05 /2012	Calcio	39,12	mg / L	Absorción atómica
301-06 /2012	Magnesio	29,80	mg / L	Absorción atómica
301-07 /2012	Cloruros	3,55	mg / L	Método argentométrico
301-08 /2012	Carbonatos	0,00	mg / L	Volumetría
301-09 /2012	Bicarbonatos	197,03	mg / L	Volumetría
301-10 /2012	Sulfatos	82,65	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible
301-11 /2012	Sólidos Suspendidos	35,00	mg / L	Gravimétrico
301-12 /2012	Sólidos Totales	422,58	mg / L	Gravimétrico
301-13 /2012	Sólidos Disueltos	387,58	mg / L	Gravimétrico
301-14 /2012	Boro	0,89	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible

OBSERVACIONES.-



RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA C.

Anexo 4: Análisis estadístico de las variables de respuesta

Peso del material de poda

Gestión 2010-2011

FV	GL	SC	CM	F	P>F	SIG,
Bloque	2	0,00002222	0,00001111	0,1	0,907	NS
La	2	0,00388889	0,00194444	17,5	0,0105	*
Error	4	0,00044444	0,00011111			
Total	8	0,00435556				

C,V, Media General
2.330.917 0,452222

Lamina	Media	Prueba Duncan (5%)
6652	0,48	A
5879	0,446667	B
7425	0,43	B

Gestión 2011-2012

FV	GL	SC	CM	F	P>F	SIG,
Bloque	2	0,00108889	0,00054444	1,07	0,4257	NS
La	2	0,00202222	0,00101111	1,98	0,2527	NS
Error	4	0,00204444	0,00051111			
Total	8	0,00515556				

C,V, Media General
6,073728 0,372222

Lamina	Media	Prueba Duncan (5%)
6778	0,39	A
5940	0,37333	A
5211	0,35333	A

Índice de Ravaz

Gestión 2010-2011

FV	GL	SC	CM	F	P>F	SIG,
Bloque	2	0,98868889	0,49434444	0,69	0,5525	NS
La	2	3.024.308.889	1.512.154.444	21,13	0,0075	**
Error	4	286.271.111	0,71567778			
Total	8	3.409.448.889				

C,V, Media General
8.580.860 9.858.889

Lamina	Media	Prueba Duncan (5%)
7425	12,1167	A
6652	9,8333	A
5879	7,6267	B

Gestión 2011-2012

FV	GL	SC	CM	F	P>F	SIG,
Bloque	2	493.620.000	246.810.000	0,3	0,7552	NS
La	2	1.119.740.000	559.870.000	0,68	0,5554	NS
Error	4	3.275.480.000	818.870.000			
Total	8	4.888.840.000				

C,V, Media General
20,18047 14,180

Lamina	Media	Prueba Duncan (5%)
6777,7	15,577	A
5211,0	14,117	A
5939,6	12,847	A

Rendimiento

Gestión 2010-2011

FV	GL	SC	CM	F	P>F	SIG,
Bloque	2	0,14575556	0,07287778	0,87	0,487	NS
La	2	537.928.889	268.964.444	31,96	0,0035	**
Error	4	0,33664444	0,08416111			
Total	8	586.168.889				

C,V, Media General
 6.532.269 4.441.111

Lamina	Media	Prueba Duncan (5%)
7425	52.433	A
6652	46.833	A
5879	33.967	B

2011-2012

FV	GL	SC	CM	F	P>F	SIG,
Bloque	2	115.468.889	0,57734444	0,62	0,583	NS
La	2	309.395.556	154.697.778	1,66	0,2987	NS
Error	4	372.857.778	0,93214444			
Total	8	797.722.222				

C,V, Media General
 18,30094 5,275556

Lamina	Media	Prueba Duncan (5%)
6778	61.000	A
5211	49.400	A
5940	47.867	A

Numero de racimos

Gestión 2010-2011

FV	GL	SC	CM	F	P>F	SIG,
Bloque	2	1.755.555.556	877.777.778	1,98	0,2532	NS
La	2	1.688.888.889	844.444.444	1,9	0,263	NS
Error	4	1.777.777.778	444.444.444			
Total	8	5.222.222.222				

C,V, Media General
 9,78024 21,55556

Lamina	Media	Prueba Duncan (5%)
5879	23	A
6652	21	A
7425	20	A

Gestión 2011-2012

FV	GL	SC	CM	F	P>F	SIG,
Bloque	2	191.992.667	95.996.333	0,24	0,7983	NS
La	2	1.220.000.000	610.000.000	1,51	0,3238	NS
Error	4	1.610.585.333	402.646.333			
Total	8	3.022.578.000				

C,V, Media General
 21,31012 29,77667

Lamina	Media	Prueba Duncan (5%)
5211	34,11	A
5940	30,11	A
6778	25,11	A

Peso de racimos

Gestión 2010-2011

FV	GL	SC	CM	F	P>F	SIG,
Bloque	2	0,00002822	0,00001411	0,05	0,952	NS
La	2	0,03430556	0,01715278	60,55	0,001	**
Error	4	0,00113311	0,00028328			
Total	8	0,03546689				

C,V, Media General
7.258.156 0,231889

Lamina	Media	Prueba Duncan (5%)
7425	0,30133	A
6652	0,243	B
5879	0,15133	C

Gestión 2011-2012

FV	GL	SC	CM	F	P>F	SIG,
Bloque	2	0,00034289	0,00017144	0,77	0,5202	NS
La	2	0,00295556	0,00147778	6,66	0,0533	NS
Error	4	0,00088711	0,00022178			
Total	8	0,00418556				

C,V, Media General
10,32587 0,144222

Lamina	Media	Prueba Duncan (5%)
5940	0,15867	A
6778	0,15533	A
5211	0,11867	B

Peso de bayas

Gestión 2010-2011

FV	GL	SC	CM	F	P>F	SIG,
Bloque	2	0,19415556	0,09707778	0,66	0,5644	NS
La	2	503.475.556	251.737.778	17,17	0,0109	*
Error	4	0,58644444	0,14661111			
Total	8	581.535.556				

C,V, Media General
8.941.579 4.282.222

Lamina	Media	Duncan (5%)
7425	5,2733	A
6652	4,1067	B
5879	3,4667	B

Gestión 2011-2012

FV	GL	SC	CM	F	P>F	SIG,
Bloque	2	0,06926667	0,03463333	0,58	0,5989	NS
La	2	0,06586667	0,03293333	0,56	0,6124	NS
Error	4	0,23706667	0,05926667			
Total	8	0,3722				

C,V, Media General
8,632889 2,820000

Lamina	Media	Duncan (5%)
6778	2,8933	A
5940	2,8667	A
5211	2,7000	A

Diámetro de bayas

Gestión 2010-2011

FV	GL	SC	CM	F	P>F	SIG,
Bloque	2	0,08	0,04	0,18	0,8424	NS
La	2	3.700.666.667	1.850.333.333	82,85	0,0006	**
Error	4	0,89333333	0,22333333			
Total	8	3.798.000.000				

C,V, Media General
 2.645.046 17,86667

Lamina	Media	Duncan (5%)
7425	19,6667	A
6652	18,9000	A
5879	15,0333	B

Gestión 2011-2012

FV	GL	SC	CM	F	P>F	SIG,
Bloque	2	0,24286667	0,12143333	0,48	0,6496	NS
La	2	0,52086667	0,26043333	1,03	0,4349	NS
Error	4	100.886.667	0,25221667			
Total	8	177.260.000				

C,V, Media General
 3,09816 16,21000

Lamina	Media	Duncan (5%)
5940	16	A
6778	16	A
5211	16	A

Grados Brix

FV	GL	SC	CM	F	P>F	SIG,
Bloque	2	688.888.889	344.444.444	3,65	0,1254	NS
La	2	8.022.222.222	4.011.111.111	42,47	0,002	**
Error	4	377.777.778	0,94444444			
Total	8	9.088.888.889				

C,V, Media General
 4.439.811 21,88889

Lamina	Media	Duncan (5%)
5877	260.000	A
6652	206.667	B
7425	190.000	B

Gestión 2011-2012

FV	GL	SC	CM	F	P>F	SIG,
Bloque	2	0,11642222	0,05821111	0,05	0,9498	NS
La	2	0,48828889	0,24414444	0,22	0,8124	NS
Error	4	446.104.444	111.526.111			
Total	8	506.575.556				

C,V, Media General
 5,241567 20,147780

Lamina	Media	Duncan (5%)
5211	20,3900	A
5940	20,2200	A
6778	19,8333	A