

VARIACIONES INTERANUALES DE LA PRECIPITACIÓN DE VERANO Y EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE LA VID EN MENDOZA

Eduardo Andrés Agosta^{1,2} y Martín Cavagnaro³

¹ Equipo Interdisciplinario para el Estudio de Procesos Atmosféricos en el Cambio Global – PEPACG-, Pontificia Universidad Católica Argentina - UCA (eduardo_agosta@uca.edu.ar)

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – CONICET.

³ Instituto Nacional de Vitivinicultura.

RESUMEN

La producción de vid es la fuente económica agroindustrial principal en Cuyo (28°S-36°S / 65°W-70°W), siendo la región de más elevado desarrollo vitivinícola del país. Uno de los factores climáticos de mayor impacto en la producción de vid es la destrucción del cultivo por granizo, como resultado de la convección severa desarrollada en época estival. La violencia con que se desarrollan las tormentas estivales de granizo genera un impacto importante en el rendimiento de los viñedos afectados, logrando la disminución parcial o total de parcelas enteras. Durante el período 1979-2008, la precipitación de verano presenta fluctuaciones de la escala 7-8 años al igual que la producción total de vid y ambas se encuentran inversamente correlacionadas intradecádicamente. Asimismo, veranos húmedos (secos) pueden presentar mayor (menor) probabilidad de ocurrencia de daños por granizo en la temporada actual que se pueden asociar a menor (mayor) producción de vid en la temporada del año siguiente debido a cambios en la disponibilidad de yemas fértiles. También una fracción de la variación de la producción de vid en el verano actual puede estar asociada a cambios en la precipitación de ese verano por daño directo (intensidad de la precipitación) o indirecto (anegamiento relativamente prolongado) ya que la defoliación y asfixia radicular parecen afectar el rendimiento de las plantas. La clara dependencia climática de cultivo muestra que la producción total anual de vid está modulada por las variaciones de la precipitación en escalas decádicas, la cual está vinculada a factores de escala global del sistema climático. Se derivan potenciales resultados para el pronóstico de la producción de vid bajo futuros escenarios de cambio climático para la región.

Palabras claves: producción de vid, precipitación, cambio climático

ABSTRACT

The grape production is the main economic source in the agro-industry of Cuyo (28°S-36°S / 65°W-70°W), becoming the most developed region for wine production in Argentina. One of the climate factors of major impact on the grapevine production is the destruction of the vineyards due to graze, as a result of summer deep convection. The strong graze storms affect the vineyard yields, provoking a partial or total deterioration of entire parcels. In the analyzed period 1979-2008 both, the summer precipitation and the grape production show significant oscillation at the scale 6-8 years being inversely correlated within the decade scale. Likewise, a wet (dry) summer can have more (less) probability of occurrence of graze harm during the actual summer being associated with lower (higher) grapevine production in the following year campaign due to changes in the availability of grape buds. Also a fraction of the grape production variation in the actual summer can be associated with changes in the precipitation of the same summer due to direct harm (precipitation intensity) or indirectly due to relatively prolonged floods. The clear climate dependence of the grape farming shows that the annual grapevine production is modulated by decadal

precipitation variations, which are linked to global features of the climate system. Potential results for the grapevine production forecast are derived under future climate change scenarios in the region.

Keywords: Grape production, precipitation, climate change

INTRODUCCIÓN

Desde al menos 1998, la industria vitivinícola nacional ha tenido un sostenido crecimiento cualitativo en la producción local que le ha permitido poder posicionarse estratégicamente a nivel internacional, sobreponiéndose a la desaceleración impuesta por la caída del consumo interno nacional de vino registrado en los últimos 25 años. Particularmente la aplicación de tecnologías de punta en las bodegas, junto a acertadas políticas de reconversión varietal hacia viñedos de alta calidad enológica y aplicación de nuevas tecnologías en viñedo, han permitido el mejoramiento de la calidad de la vid para la producción de vinos de alta performance que ubican al país competente en el mercado internacional (Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV)). El posicionamiento de la Argentina a nivel mundial en los últimos años se ve reflejado en el aumento creciente y sostenido de las exportaciones, pasando de estar en el 11º lugar como exportador de vinos a la 7º posición en los últimos 3 años (Organisation Internationale de la Vigne et du Vin).

Dentro del país, la región de Cuyo, en el centro-oeste (entre 28°S-36°S y 65°O-70°O) presenta características climáticas áridas y semiáridas que la hacen favorable para el desarrollo del cultivo de la vid por irrigación artificial. Dentro de la región, la provincia de Mendoza ostenta cerca del 70% del área nacional cultivada con vid y una producción de algo más de 65% del total nacional. Estos datos posicionan a la provincia de Mendoza en un lugar relevante para la agroindustria del vino que depende esencialmente de la producción total de vid y la calidad de uvas obtenidas. En trabajos previos se ha podido inferir que la producción total de vid en la provincia de Mendoza está en parte determinada por las variaciones climáticas de la precipitación regional en escala decádica dentro del período 1979-2000 (Agosta 2005, 2006). En el contexto actual de búsqueda de estrategias para la adaptación al cambio climático global, conocer la evolución de la producción de la vid en Mendoza y las variaciones regionales del clima puede aportar un conocimiento agregado de valor para la toma de decisiones a mediano y largo plazo. Por ello el objetivo de este estudio básico es estudiar en mayor detalle la relación existente entre la variabilidad de la precipitación de verano en Cuyo y la producción de vid en la provincia de Mendoza para los últimos 30 años.

DATOS Y METODOLOGÍA

Los datos para el análisis de la producción de vid son provistos por el INV y consisten en valores anuales de la producción total de vid en quintales y de la superficie implantada en hectáreas, para la provincia de Mendoza en el período 1979-2007. Con estas variables se estimó el rendimiento de la vid (Rinde) como el cociente entre el total de producción de vid y el área implantada con cultivos. Los datos de precipitación corresponden a totales y frecuencia mensuales de diez estaciones meteorológicas dentro de la región de Cuyo detalladas en la Tabla 1, provistas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). La variabilidad de la precipitación de verano (octubre a marzo) ha sido estudiada en detalle previamente por Agosta et al. (1999) y Compagnucci et al. (2002). Estos estudios establecieron un índice anual regional para la precipitación estival de Cuyo (**PVC**), el cual se utiliza en el presente análisis sobre la base 1979-2008.

El índice se calcula como el cociente porcentual respecto de la media de cada estación sobre el período base, promediado sobre todas las estaciones disponibles en cada año y tipificado. De esta manera, los veranos húmedos (secos) en Cuyo se ven reflejados por los valores positivos (negativos) del índice **PVC**. En este trabajo, verano húmedo (seco) significa mayor (menor) precipitación cuyo origen puede ser por precipitación líquida o granizo. Además se utilizan datos totales de superficie dañada por granizo (**SDG**) en hectáreas para la provincia de Mendoza, en el período estival 1994-2006, relevada por la Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas (DACC) de la Provincia de Mendoza. Para analizar la variabilidad de baja frecuencia de las temperaturas superficiales del mar (TSM) en la cuenca del Océano Pacífico central, se emplea el índice de la Oscilación Decádica del Pacífico (PDO), calculado

como la primera componente principal de las anomalías de TSM hacia el norte de 20°N del Pacífico Norte (Zhang et al. 1997), provisto por el Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (JISAO).

Tabla 1: Información de las estaciones meteorológicas usadas para este análisis

<i>Estación</i>	altitud (m)	latitud (°S)	longitud (°O)	Registro máximo
(1) La Rioja	516	29°25'	66°52'	1904-2008
(2) San Juan	634	31°32'	68°34'	1901-2008
(3) Mendoza	769	32°53'	68°49'	1901-2008
(4) San Luis	734	33°18'	66°19'	1906-2008
(5) Villa Mercedes	514	33°41'	65°29'	1942-2008
(6) San Carlos	940	33°46'	69°02'	1939-2004
(7) Rama Caída	713	34°40'	68°24'	1927-2008
(8) Colonia Alvear	465	35°00'	67°39'	1936-1979
(9) Victorica	312	36°14'	65°26'	1907-2004
(10) Malargüe	1417	35° 28'	69° 35'	1953-2004

La metodología principal consiste en el análisis de regresión múltiple entre el rendimiento de vid (Rinde) y el índice de precipitación (PVC) para el año actual de cosecha (lag=0) y el anterior (lag= +1). También se estiman los coeficientes de correlación del primer momento de Pearson entre las variables y el análisis espectral por transformada rápida de Fourier, previa remoción de las tendencias significativas de las series (Canavos 2003). La serie de la PVC se suaviza mediante un filtro paso-bajo gaussiano de 5 y 9 términos para retener ondas mayores o iguales a 6 y 10 años, respectivamente. También se aplican ajustes polinomiales de grado n por cuadrados mínimos.

RESULTADOS

Variaciones seculares de la precipitación

Según Agosta y Compagnucci (2008) la precipitación en Cuyo y la TSM en la región del Océano Pacífico central están vinculadas en la muy baja frecuencia, como lo manifiesta el cambio en la baja frecuencia de la precipitación en el verano austral 1976/77, en concordancia con cambio en las condiciones medias de la TSM de esa región del Pacífico que afectó el clima en diversas regiones del hemisferio occidental (Ebbesmeyer et al., 1991). La magnitud de este fenómeno es tal, que es conocida como la transición climática del 1976/77 (Huang et al., 2005). La causa de la vinculación entre el cambio de la precipitación en Cuyo y el cambio de las TSM en el Pacífico central está en un cambio de la circulación atmosférica sobre el cono sur de Sudamérica que favorece una mayor advección de humedad desde latitudes tropicales hacia Argentina subtropical y una menor actividad ciclónica en latitudes medias (Agosta y Compagnucci, 2008a). El cambio de fase de la TSM del Pacífico durante la década de los 1970s forma parte de una variación de muy baja frecuencia característica de la cuenca del Pacífico y que se la conoce como la variabilidad tipo-El Niño (Zhang et al., 1997) y está estrechamente relacionada con la PDO (Mantua et al., 1997). Compagnucci et al. (2002) demostraron que la precipitación en Cuyo presenta un cuasi-ciclo de 18 años significativo hasta mediados de la década del 1970, que posteriormente se desvanece debido al efecto local de la transición climática de 1976/77. Según Agosta y Compagnucci (2008b), la existencia de este cuasi-ciclo de 18 años en la precipitación de Cuyo responde a oscilaciones del campo de presión en latitudes medias centrados en 55°S-50°O sobre el sudoeste del Atlántico Sur.

En la Figura 1a se presenta el índice PVC (línea con cuadro) calculado sobre el período 1901-2008, con base 1979-2008, en unidades porcentuales de la media regional por estación y la curva suavizada por

filtro gaussiano de 9 términos (curva con triángulo) para enfatizar el cuasi-ciclo de 18 años dominante hasta mediados de los 1970s (Compagnucci et al., 2002). En la Figura 1b el índice de la PDO (barras verticales). Sobrepuestas en cada una de ellas están las curvas polinomiales de grado 4, a fin de suavizar los procesos de muy baja frecuencia tanto en la PDO como en la PVC. El índice PDO utilizado tiene, *ipso facto* por método, filtrado cualquier efecto de calentamiento global, mientras que la curva de PVC muestra una ligera tendencia positiva en la segunda mitad del siglo XX, que no es significativa. No obstante la oscilación de muy baja frecuencia en ambas series tiende a coincidir tanto en la fase como en el período de cambio, especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XX (curvas llenas en Fig. 1a y 1b).

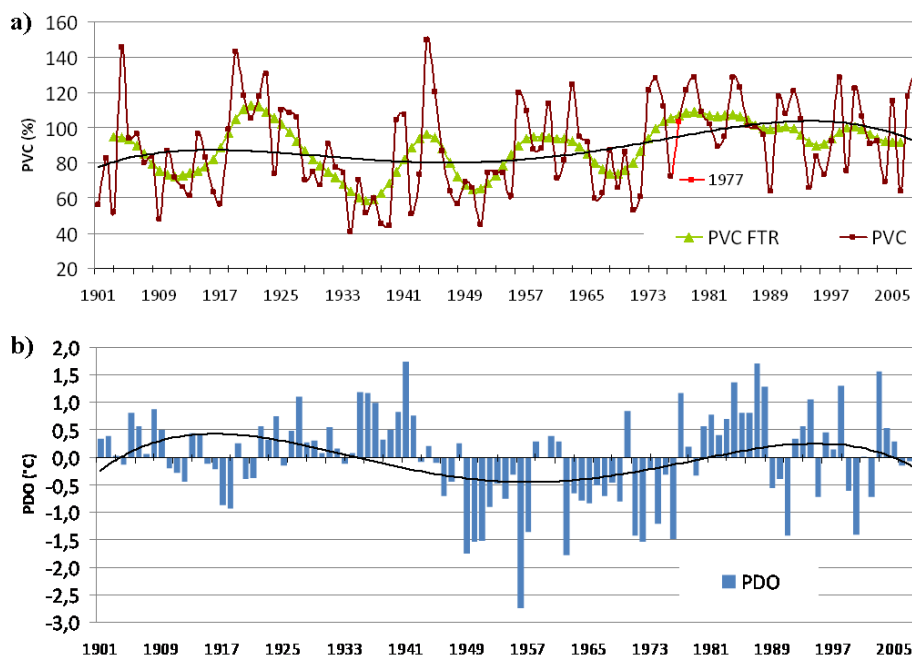


Figura 1: a) Índice de la precipitación de verano en Cuyo (PVC en porcentaje de la media regional), línea con cuadro) e índice PVC suavizado con paso-bajo de 9 términos (PVC FTR, línea con triángulo), para enfatizar el cuasi-ciclo de 18 años presente hasta el verano de 1977 (resaltado en rojo) según Compagnucci et al. (2002). b) Índice interanual de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, acrónimo en inglés, en anomalía de temperatura de superficie del mar,) provisto por JISAO (barras verticales). Ajustes polinomiales de grado 4 para enfatizar las escala de muy baja frecuencia para PDO y PVC (curvas llenas en a y b).

El proceso de baja frecuencia de cambio de fase para la PVC de las últimas cinco décadas parece preceder al de la PDO debido quizás a efectos de tendencia lineal (asociado a posible efecto del calentamiento global en la precipitación de la región) que no se ha filtrado en la serie de PVC y que explicaría el aumento escalonado entre máximo y máximo reflejado por el cuasi-ciclo de 18 años entre finales de la década del 50 y finales de la década del 70 (Fig. 1a, curva con triángulo). Está bien establecido que la variabilidad tipo-El Niño presenta cambios de fases en los veranos australes 1945/56 y 1976/77 (Mantua et al., 1997; Garreaud y Battisti, 1999). Este último cambio concuerda con el cambio significativo en el cuasi-ciclo de 18 años de la PVC que mantiene el período húmedo prolongado en Cuyo (Compagnucci et al., 2002). A partir de los 2000s, se evidencia un cambio hacia una fase negativa de la serie de la PVC, probablemente inaugurando otra fase negativa de muy baja frecuencia. Este cambio de

fase de la precipitación en esta escala de baja frecuencia podría, a su vez, verse reforzado por el cambio de fase de en la misma escala que está experimentando la PDO casi simultáneamente (Agosta y Compagnucci, 2008a).

El rendimiento de la vid y la precipitación en el período 1979-2008

La marcha interanual del rendimiento de la vid (Rinde) en Mendoza para las campañas 1979-2007 (línea con cuadros) y el índice de precipitación PVC (barras verticales) para el período 1979-2008, que corresponde a un período húmedo de muy baja frecuencia en Cuyo, mencionado anteriormente, con visos de cambio hacia la fase negativa (Figura 2). El rendimiento de vid muestra a lo largo del período una tendencia positiva y significativa, con una correlación reflejada por $r=0,46$ significativamente distinta de cero al 99% de confianza. Una parte de la tendencia positiva en la variable Rinde es plausible atribuirla al mejoramiento de las condiciones de cepas y viñedos en las últimas décadas.

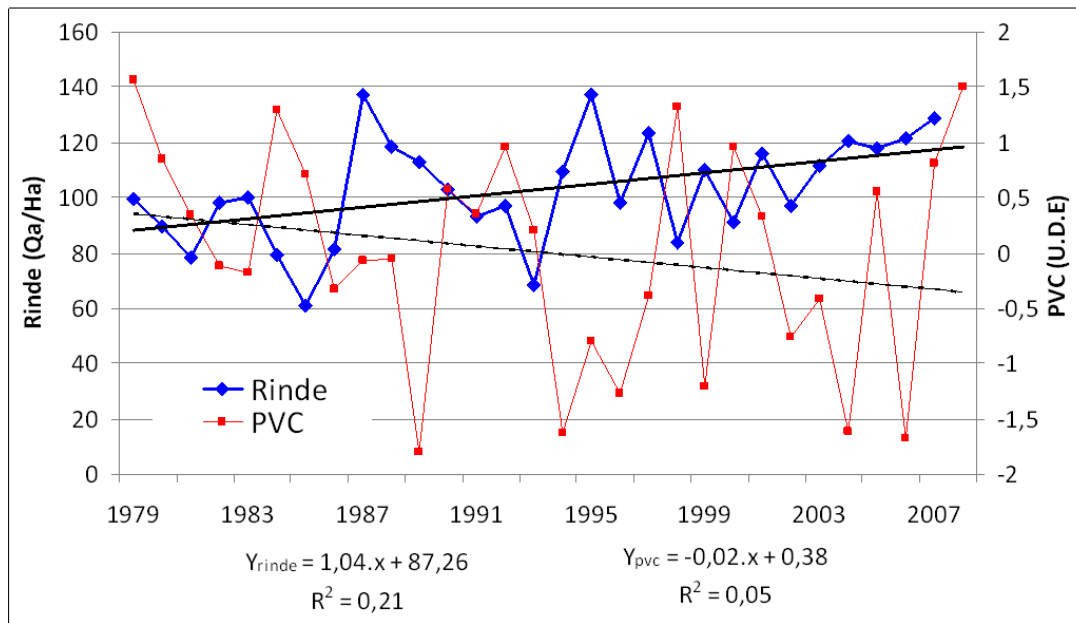


Figura 2: Rendimiento de la vid en Mendoza (Rinde, en Qa/Ha, línea azul) y del índice de precipitación de verano en Cuyo (PVC, en unidades de desvío estándar - U.D.E.-, línea roja). Se muestran las curvas de tendencia lineal para Rinde (línea negra llena) y para PVC (línea negra a trazos) con ecuaciones lineales Y_{rinde} e Y_{pvc} y varianzas explicadas (R^2), respectivamente.

Asimismo la precipitación en la región de Cuyo presenta una tendencia negativa, con coeficiente de correlación $r = -0,20$, no significativamente distinto de cero al 95% de confianza para el mismo período. Los resultados de la sección anterior nos muestran que la región de Cuyo comenzó desde inicio de la década de 1970 un prolongado período de ocurrencia de veranos húmedos con tendencia a volver a una fase negativa, ya a partir de la década del 2000. Como es de esperar, este proceso puede apreciarse claramente en la marcha del índice PVC de la figura 2, que solapa los últimos años a la serie correspondiente de la figura 1. Así, durante el período 1979-1993 predominan valores positivos mientras que desde mediados de los 1990s hasta mediados de los 2000s predominan valores negativos, que en el promedio global revelan el proceso de baja frecuencia de cambio de fase. Si bien los dos últimos registros 2007 y 2008 muestran valores positivos de PVC, la tendencia negativa es el proceso dominante. Las tendencias de signo contrario observadas entre precipitación estival en Cuyo y el rendimiento de vid en Mendoza y la correlación inversa entre ambas series crudas que es mayor a 0,45 sugieren que, en

principio, podrían estar vinculadas de establecerse algún mecanismo real de conexión en la muy baja frecuencia.

Es sabido que el rendimiento de las plantas se ve afectado por la pérdida de superficie foliar debido a defoliación provocada por la ocurrencia de precipitaciones intensas o granizo y por la asfixia radicular debido al anegamiento prolongado causado por un exceso de agua. A su vez las lluvias excesivas, en general, causan efectos negativos cuando favorecen el desarrollo de enfermedades criptogámicas, principalmente peronospora, oidio y botrytis. Estas enfermedades causadas por hongos, afectan la superficie foliar fotosintéticamente activa y pueden afectar los racimos, tanto como bayas verdes o en etapa de maduración (Gil y Pszczółkowski, 2007). Como daño adicional puede mencionarse el daño directo (por intensidad) e indirecto (anegamiento relativamente prolongado) a las plantas luego de la ocurrencia de lluvias torrenciales de verano (Gil y Pszczółkowski, 2007). Es decir que las condiciones de humedad del verano actual a la cosecha pueden tener efectos significativos en el rendimiento. Por otra parte, si bien el daño producido a las plantas es importante en cualquier estadio fenológico, es particularmente importante en las primeras fases del desarrollo, produciendo pérdida de brotes completos y especialmente en las fases de floración y cuaje de los racimos. En estas etapas puede disminuir considerablemente la cantidad de racimos florales o cuajados o dejar heridas en bayas ocasionando una merma directa en la producción del ciclo vegetativo posterior inmediato (Sotés, 2003). Esto significa que también las condiciones de humedad del verano anterior son relevantes.

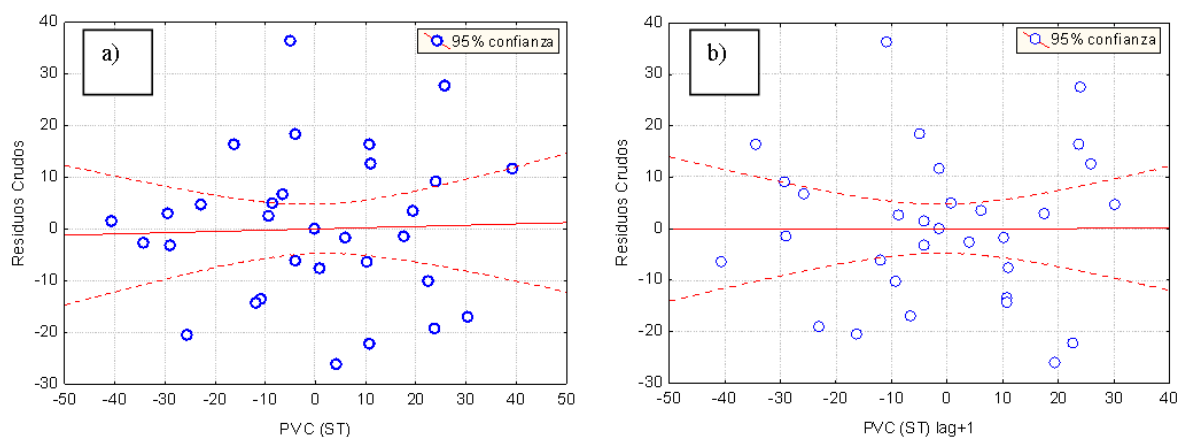


Figura 3: Puntos de dispersión entre residuos y las variables independientes (círculos): **a)** precipitación en el verano actual sin tendencia (PVC (ST)) y **b)** en el verano anterior sin tendencia (PVC (ST) lag+1). Líneas de regresión lineal, ecuación de la recta de regresión, coeficiente de correlación y bandas de significancia.

La correlación entre PVC y Rinde sin tendencias es durante el verano actual ($\text{lag}=0$) $r_0 = -0,35$, significativamente no nulo al 90%, y durante el verano siguiente ($\text{lag}=+1$), $r_1 = -0,36$, significativamente distinto de cero para el 95%. Es decir que tanto la precipitación en el verano actual como durante el verano anterior explican una similar pequeña fracción de varianza del rinde de la vid, cada una por separado. Cabe destacar que la precipitación de un verano no guarda memoria con la del año siguiente como lo muestra la correlación nula entre las series de PVC para $\text{lag}=0$ y para $\text{lag}=-1$, es decir, ambas son independientes. Sin embargo como ambos efectos pueden contribuir independientemente con el rendimiento de vid, es posible establecer un plano de regresión lineal entre las variables sin tendencias del rendimiento de la vid (Rinde ST, sin tendencia), como variable dependiente y la precipitación tanto del verano actual como del verano anterior (PVC ST $\text{lag}=0$, PVC ST $\text{lag}=+1$), como variables independientes. Para este análisis de regresión múltiple, se obtiene un coeficiente de regresión múltiple $R=0,5$ que es

significativo para $\alpha=0,02$ ($N=29$). El análisis de los residuos (Figura 3) claramente muestra el alto grado de independencia de éstos con las variables independientes del modelo de regresión múltiple, lo cual revela la fiabilidad del análisis. Por consiguiente, el efecto conjunto de la precipitación del verano anterior y el verano actual sobre el rinde la vid es explicar cerca del 25% de la varianza interanual.

En consecuencia, se sugiere que tanto el daño de brotes y yemas por granizo el año anterior y el exceso de agua que produce anegamiento y predispone a enfermedades fúngicas en el verano actual serían el mecanismo real de conexión entre la precipitación en Cuyo año a año y el rendimiento de la vid. Para cerrar esta conclusión queda por verificar si es posible que un verano húmedo (seco) definido con el índice PVC esté asociada a mayor (menor) ocurrencia de granizo. Con este fin se correlaciona el índice sin tendencia con la serie de superficie dañada por granizo (SDG), también sin tendencia, sobre el período de datos disponibles (1994-2006, $N=13$). Ideal hubiera sido contar con datos observados de granizo, pero lamentablemente no se cuenta con datos de esta variable para la región, en un período suficiente en calidad, número de estaciones y continuidad. Cabe destacar que la serie SDG presenta una tendencia ligeramente negativa durante los últimos años que puede estar asociada a la campaña antigranizo (figuras no mostradas) por ello es conveniente su filtrado. La Figura 4 muestra la relación de dispersión entre ambas variables. Es evidente el alto nivel de relación lineal directa, revelada por el coeficiente de correlación $r = 0,56$, significativamente no nulo para una confianza del 95%, y por el hecho de que todos los puntos de la dispersión caen dentro de la banda del intervalo de confianza. Esto significa que las variaciones de la precipitación explican algo más del 30% de la varianza de la superficie dañada por granizo. O indirectamente, un verano húmedo (seco), o con mayor (menor) precipitación, está significativamente asociado a la ocurrencia de más (menos) caída de granizo que daña más (menos) superficies cultivadas.

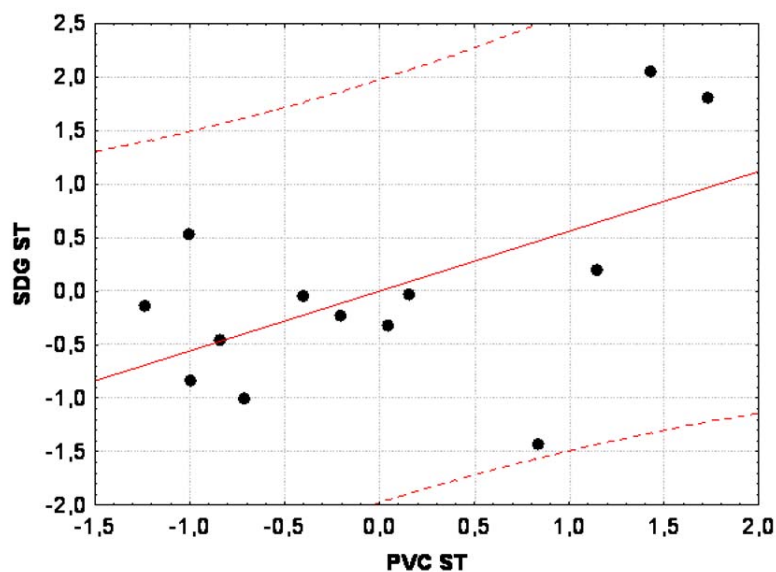


Figura 4: Relación lineal de dispersión entre la superficie dañada por granizo (SDG ST) y la precipitación de verano en Cuyo (PVC ST), ambas sin tendencias, calculado para $N=13$. Los valores de SDG se muestran tipificados. Coeficiente de correlación lineal $r=0,56$. Intervalo de confianza al 95% (línea a trazos).

Los espectros de Fourier de las series de Rinde y PVC (Figura 5) muestra que ambas variables tienen un pico de energía espectral en las bandas 7-8 años que son significativos a más del 90% de confianza. Aplicando un filtro paso-bajo de 6 años con pesos gaussianos a cada una de las series es posible visualizar en el tiempo las oscilaciones de baja frecuencia que revela el análisis de espectro. Claramente en la escala intradecádica el rendimiento de la vid y la precipitación en Cuyo están en fase e inversamente

relacionados (Figura 6). Esto quiere decir que ambos procesos asociados a la precipitación que afectan el cultivo de vid y su producción (el mecanismo real de conexión) se transfieren a la baja frecuencia como un proceso fluctuante a lo largo de una década. Por lo cual, nada impide que dichos efectos también se mantengan a lo largo de prolongados períodos de cambio de fase de la precipitación, en escalas mayores a la década, como los ocurridos a lo largo del siglo XX, descriptos en la sección previa. Asimismo una parte de la tendencia significativa del rendimiento de la vid puede estar vinculada a la tendencia de signo contrario de la precipitación de Cuyo durante los últimos 30 años.

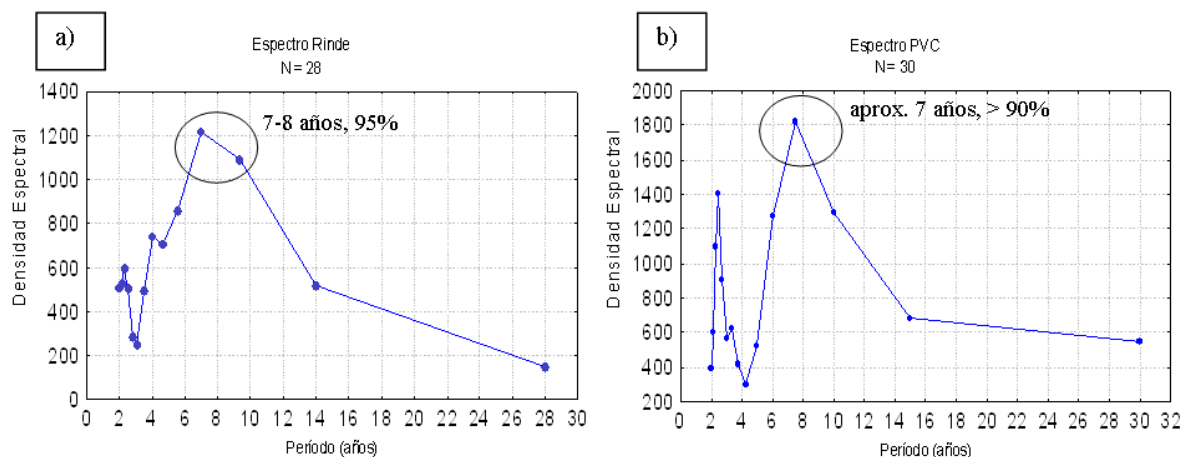


Figura 5: Espectros para **a)** la serie de rendimiento de vid sin tendencias (Rinde) y **b)** la precipitación de Cuyo sin tendencias (PVC), expresados en períodos. Picos espectrales significativos de acuerdo al espectro asociado de continuo nulo de ruido “blanco” markoviano (dado que la autocorrelación para lag=1 es significativamente nula para ambas series) siguiendo las sugerencia de (Jenkins y Watts 1968).

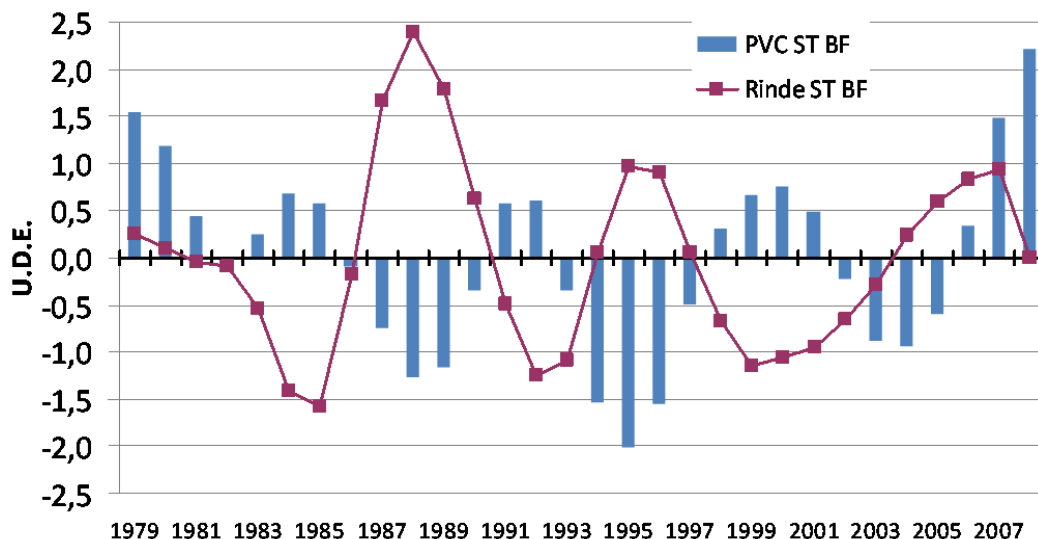


Figura 6: Series filtradas paso-bajo de baja frecuencia (ondas mayores o iguales a 6 años) de la precipitación de verano en Cuyo sin tendencias (PVC ST BF, barras) y del rendimiento de vid en Mendoza (Rinde ST BF, línea con cuadro). Eje izquierdo valores tipificados de Rinde y eje de la derecha, valores del índice PVC. U.D.E.: unidades de desvío estándar de cada variable.

CONCLUSIONES

Se encuentra que el rendimiento de la vid en Mendoza y la precipitación de verano están significativamente relacionados en forma inversa a lo largo de una década debido a dos procesos distintos que afectan los cultivos de vid año a año y que conforman un mecanismo real de conexión. Uno es el daño producido por el granizo sobre la disponibilidad de yemas durante el verano anterior y el otro es el daño provocado por el exceso de agua en el cultivo (asfixia radicular, defoliación por intensidad de lluvias, anegamiento prolongado, proliferación de enfermedades, etc.) durante el verano actual de la cosecha. Esto se traduce en la existencia de periodos de 3-4 años con alto (bajo) rendimiento de vid debido solamente a variaciones en la precipitación. Como la precipitación durante las últimas décadas ha experimentado una tendencia negativa, cabe esperar que estos mismos efectos sean responsables de una parte de la tendencia positiva y significativa del rendimiento de la vid, además del mejoramiento por implementación de tecnologías nuevas. Esta última consideración no tiene un estudio de monitoreo exacto por parte de la industria, aunque esa mejora puede afirmarse como positiva según las observaciones realizadas y la opinión de los expertos del INV.

Diversos escenarios de cambio climático generados sobre la base de modelos de Circulación General de la Atmosfera (CGA), acoplados con océanos, con distintos umbrales de gases de efecto invernadero (GEI) coinciden en que, para la región de los llanos de Cuyo, durante las décadas futuras (más allá del 2080, por ejemplo), habrá mayores tasas de precipitación en la estación lluviosa sobre Argentina subtropical incluyendo los llanos de Cuyo (Nuñez et al., 2008). Por lo cual, de mantenerse las relaciones causa-efecto encontradas en este estudio entre precipitación y producción de vid a través del mecanismo real de conexión año a año, entonces la región de Cuyo tiene alta posibilidad de atravesar condiciones climáticas futuras que comenzarían paulatinamente a ser adversas para el rendimiento de la vid, al menos en lo que respecta a la precipitación. Al mismo tiempo, la precipitación de Cuyo muestra naturalmente oscilaciones multidecádicas significativas, como por ejemplo, el cuasi-ciclo de 18 años que se observa desde comienzo del siglo XX hasta mediados de los 1970s (Agosta et al., 1999; Compagnucci et al., 2002). También presenta cambios de fase en la muy baja frecuencia, como el prolongado período húmedo ocurrido desde la década de 1970 y que aparentemente está cambiando hacia un período seco desde los 2000s; cambios vinculados a las condiciones medias de las TSM del Pacífico central que afectan significativamente la circulación atmosférica en el cono sur de Sudamérica (Agosta y Compagnucci, 2008a).

Por lo tanto la evolución futura de la precipitación de Cuyo puede estar asociada a cambios insospechados si sólo se tienen en cuenta los GEI y no hay un seguimiento pormenorizado y un mayor conocimiento de estas teleconexiones internas del sistema climático global Atmósfera/Océano. Grimm et al. (2004) señalan la existencia de estos cambios de teleconexión, ocurridos en la escala decádica debido a cambios interdecádicos del estado básico de la atmósfera, que los modelos actuales no reproducen adecuadamente porque son “ajustados” para un régimen climático dado. Esto quiere decir que los modelos son incapaces de pronosticar las nuevas áreas que se teleconectarán con fluctuaciones de una determinada variable climática al producirse la pérdida de una teleconexión previamente existente, tal como ocurrió en el verano 1976/77.

Hasta el momento no se cuenta con herramientas suficientes de pronóstico climático a largo plazo como para proveer de un escenario preciso de las condiciones futuras en el régimen de precipitación en Cuyo. Se ve claramente necesario el seguimiento pormenorizado de las fluctuaciones de la precipitación para monitorear el rendimiento de la vid dentro de la década. Sería muy aventurado elaborar perspectivas a muy largo plazo en el rendimiento de la vid sólo con la actual información disponible. Cabe recordar que la temperatura en las distintas etapas del ciclo fenológico del cultivo también juega un rol importante en la producción final de la vid. La elaboración acertada de perspectivas monitoreadas del rendimiento de la vid requiere también complementar el entendimiento de cómo la temperatura afecta la vid en escala climática.

Agradecimientos: A los proyectos PICT 2007-01888 y PICT 2007-00438 de la Agencia Nacional (SECYT). A *Orden del Carmen* por toda su ayuda.

REFERENCIAS

- Agosta, E. A., R.H. Compagnucci y, M.W. Vargas, 1999: Cambios en el Régimen Interanual de la Precipitación Estival en la Región Centro-Oeste Argentina. *Meteorologica.* , v.24, n.1 y 2, 63 – 84.
- Agosta, E. A. ,2005: Fluctuaciones interanuales de la precipitación de verano en el Centro-Oeste de Argentina y producción de Vid durante las últimas décadas. En: XIII JORNADAS DE JÓVENES INVESTIGADORES, San Miguel de Tucumán.
- Agosta, E. A., 2006: Precipitación de Verano en la región Centro-Oeste de Argentina y procesos atmosféricos/oceánicos de escala regional y global. Tesis de Doctorado de la Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, pp 178.
- Agosta, E. A. y R.H. Compagnucci, 2008a: The 1976/77 Austral Summer Climate Transition Effects on the Atmospheric Circulation and Climate in southern South America. *Journal of Climate*. DOI: 10.1175/2008JCLI2137.1.
- Agosta, E. A. y R.H. Compagnucci, 2008b: Procesos atmosféricos/oceánicos de baja frecuencia sobre la cuenca sudoeste del Atlántico Sur y la variabilidad de la precipitación en el Centro-Oeste de Argentina. *GEOACTA* 33, 11-22.
- Canavos G.C. 2003. Probabilidad y Estadística. Mc Graw-Hill, Madrid, 651pp.
- Compagnucci R.H., E.A. Agosta, M.W. Vargas, 2002: Climatic Change and Quasi-Oscillations in Central-West Argentina Summer Precipitation. Main Features and Coherent Behaviour with Southern African Region. *Climate Dynamics.* , v.18, p.421 – 435.
- Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas de la Provincia de Mendoza. On Line: www.contingencias.mendoza.gov.ar
- Ebbesmeyer C.C., Cayan D.R., McLain D.R., Nichols F.H., Peterson D.H. and Redmond T. 1991: 1976 Step in the Pacific Climate: Forty environmental changes between 1968-1975 and 1977-1984. *Proceeding of the 7th Annual Pacific Climate PACLIM, Workshop, April 1990*, Eds. Betancourt, J.L. y V.L. Tharp, Californian Dep. of Water Resources, Interagency Ecological Studies Program, Tech. Rep. 26, 115-126.
- Gil, Gonzalo F. y Pszczółkowski, P, 2007: Viticultura. Fundamentos para optimizar producción y calidad – Colección en Agricultura – Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal – Universidad Católica de Chile
- Grimm, A.M., Sahai, A.K., Ropelewski, C.F. 2004: Long-term variations in the performance of climate models. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia.
- Huang, H.-P., R. Seager, and Y. Kushnir, 2005: The 1976/77 transition in precipitation over the Americas and the influence of tropical sea surface temperature. *Clim. Dyn.*, 24 (7), 721 – 740.
- Instituto Nacional de Vitivinicultura. On Line www.inv.gov.ar
- Jenkins and Watts, 1968, *Spectral Analysis and Its Applications*, Holden-Day, pp 525.
- Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (JISAO). On Line: <http://jisao.washington.edu/pdo/>.
- Mantua, N.J. and S.R. Hare, Y. Zhang, J.M. Wallace, and R.C. Francis, 1997: A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, pp. 1069-1079.
- Nuñez, M. N., S. Solman and M. F. Cabré, 2008: Climate change experiments over southern South America. II: Southern South America climate in the late twenty-first century: annual and seasonal mean climate. *Climate Dynamics*. DOI 10.107/s00382-008-0449-8.
- Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV), 2007: Situación y estadísticas del sector vitivinícola mundial. On Line: www.oiv.int
- Sotés, Vicente, 2003: Los sistemas vitícolas – Factores Naturales de Producción, España
- Zhang, Y., J.M. Wallace and D.S. Battisti, 1997: ENSO-like Interdecadal Variability: 1900-93. *Journal of Climate*, Vol. 10, 1004-1020.

Recibido: 12 de febrero de 2010

Aceptado: 2 de julio de 2010