
EL RENDIMIENTO DE VID Y LAS VARIACIONES DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN MENDOZA

Eduardo Agosta ^(1,2), Martín Cavagnaro ⁽³⁾, Pablo Canziani ^(1,2)

(1) Equipo Interdisciplinario para el Estudio de Procesos Atmosféricos en el Cambio Global –PEPACG, Pontificia Universidad Católica. Edificio San José, Av. A. Moreau de Justo 1600, 3er piso, Puerto Madero C1107AAZ, Buenos Aires, Argentina. Mail: eduardo.agosta@conicet.gov.ar

(2) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – CONICET.

(3) PEPACG en Facultad Regional Mendoza (UTN), Mendoza, Argentina

RESUMEN

En la región de Cuyo (entre 28 ° S-36 ° S y 65 ° W-70 ° W), la producción de uva es la fuente principal de materia prima en la agro-industria, convirtiéndose en la región más desarrollada para la producción de vino en la Argentina. El análisis se centra en el rendimiento anual de la vid en la provincia de Mendoza en el periodo 1979-2008. La cosecha anual se produce a finales de febrero hasta mediados de abril. Los principales factores climáticos que afectan los rendimientos de la vid son la temperatura y la precipitación. La temperatura puede afectar el crecimiento temprano de los brotes de la vid. Las temperaturas medias máximas de invierno (junio y julio), fines de primavera (noviembre) y verano (diciembre) parecen tener influencia en los rendimientos de uva del año siguiente. Por lo tanto, meses más cálidos (fríos) están relacionados con el aumento (disminución) de rendimiento de la vid. A su vez, la precipitación afecta negativamente el rendimiento por exceso de agua y por el impacto de la destrucción de los viñedos por granizo. Meses más húmedos en noviembre y mediados de diciembre reducen el rendimiento de la producción de uva. Las tormentas de granizo de convección, afectan a los viñedos en enero y marzo del verano anterior, así como en diciembre, mostrando valores más bajos de producción de uva durante la cosecha siguiente. Teniendo en cuenta todas las variables climáticas se puede estimar con unos meses de anticipación, en forma cuantitativa, con una varianza explicada cercana al 50%, el rendimiento de la vid en una temporada.

Palabras clave: producción de uva, precipitación, cambio climático, rendimiento de vid

ABSTRACT

In the 'Cuyo' region (between 28°S-36°S and 65°W-70°W) the grape production is the main raw material source for the agro-industry, becoming the most developed region for wine production in Argentina. The analysis focuses on the annual grapevine yield in Mendoza Province in the period 1979-2008. The annual vintage occurs at the end of February till mid-April. The main climate factors affecting grapevine yields are temperature and precipitation. The temperature can impact the early growth of grape buds. Winter (June and July), late spring (November) and early summer (December) mean maximum temperatures appear to influence the following year's grape yields. Thus, warmer (colder) months are related with increased (decreased) grapevine yield. In turn, the precipitation negatively impacts the yields by means of both water excess and the impact of the vineyards destruction by hail. Wetter months as November and partially December yield lower grape production. The convective hail storms, affecting the vineyards in January and March of the previous summer as well as in December, show lower grapevine values during the following vintage. Taking into account all climatic variables it is possible to quantitatively estimate, a few months in advance, with an explained variance close to 50%, the grapevine yield in a season.

Keywords: grape production, precipitation, climate change, grape yield.



INTRODUCCIÓN

Dentro del país, la región del Centro-Oeste (entre 28°S-36°S y 65°O-70°O) denominada Cuyo 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).

La industria vitivinícola nacional ha tenido un sostenido crecimiento cuali-cuantitativo en la producción local durante los últimos diez años 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, e inclusive posicionarse mejor en mercados internacionales pese a la creciente sobreoferta de vinos. En efecto 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, en www.inv.org.ar). 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 11° lugar como exportador de vinos a la 7° posición en los últimos 3 años (Organisation Internationale de la Vigne et du Vin; en www.oiv.int).

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 en relación a las variaciones regionales del clima actual puede aportar un conocimiento agregado de valor para la toma de decisiones a mediano y largo plazo. Por ello el objetivo de este estudio exploratorio es estudiar en detalle la relación existente entre la variabilidad interanual a lo largo del ciclo anual de la precipitación, en particular de verano, y la temperatura con la producción total de vid en la provincia de Mendoza para los últimos 30 años. De esta manera se podrán estimar cuantitativamente la dependencia del rendimiento de la vendimia para con el clima mendocino y relevar los principales parámetros climáticos involucrados.

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 1979-2008. 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 (10) estaciones meteorológicas dentro de la región de Cuyo, provistas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y mostradas en la Tabla 1. La variabilidad interanual de la precipitación de verano (de octubre a marzo) ha sido estudiada en detalle previamente por Agosta y otros (1999) y Compagnucci y otros (2002). Estos estudios establecieron un índice anual regional para la precipitación estival de Cuyo (**PVC**), el cual se utiliza en la sección 3.1 del 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 los oasis de la provincia de Mendoza, en el período estival 1994-2006, relevada por la Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas (DAAC) de la Provincia de Mendoza (www.contingencias.mendoza.gov.ar).

<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

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

Para el análisis interanual dentro del ciclo anual de la precipitación y temperatura en relación con el rendimiento de la vid, se utiliza la estación meteorológica Mendoza Observatorio (MZA, ver Tabla 1) como referencia. En la selección se tuvo en cuenta: su período histórico de observaciones, la buena calidad de datos y por estar localizada cerca del Oasis Este, principal área agrícola para la producción de vid. Para analizar las variaciones interanuales dentro del ciclo anual sobre la región cualquier otra estación meteorológica en el área es asimismo representativa. Los datos mensuales utilizados son precipitación (PPP) y temperatura máxima (Tmax) y mínima (Tmin).

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

1- El rendimiento de la vid y la precipitación año a año en Cuyo

En acuerdo con Agosta y Cavagnaro (2009), el rendimiento de vid y el índice anual PVC muestran a lo largo del período 1979-2008 una tendencia positiva y significativa (Figura 1). Una parte de la tendencia positiva en la variable Rinde es plausible atribuirle al mejoramiento de las condiciones de cepas y viñedos en las últimas décadas. Asimismo la precipitación en la región de Cuyo presenta una tendencia negativa. 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.

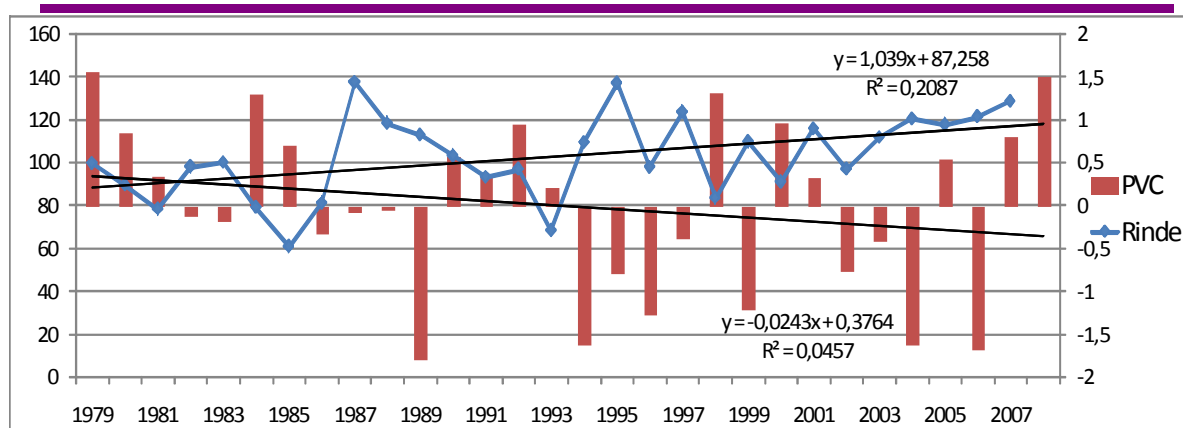


Figura 1: Valores anuales del rendimiento de la vid en Mendoza (Qa/Ha) (Rinde, línea con cuadros) y del índice de precipitación de verano en Cuyo (PVC, barras verticales). Líneas de tendencia lineal para cada serie, con ecuaciones y varianzas explicadas, respectivamente

La correlación entre PVC y Rinde sin tendencias es durante el verano actual (lag=0) $r_0 = -0,35$, significativamente no nulo al 90%, y durante el verano siguiente (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 lag=0 y para 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 lag=0, PVC ST lag= -1), como variables independientes. Para este análisis de regresión múltiple, se obtiene un coeficiente de regresión múltiple $R = 0,500$ que es significativo para $\alpha = 0,02$ (con $N = 29$). El análisis de los residuos (Figura 2) 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.

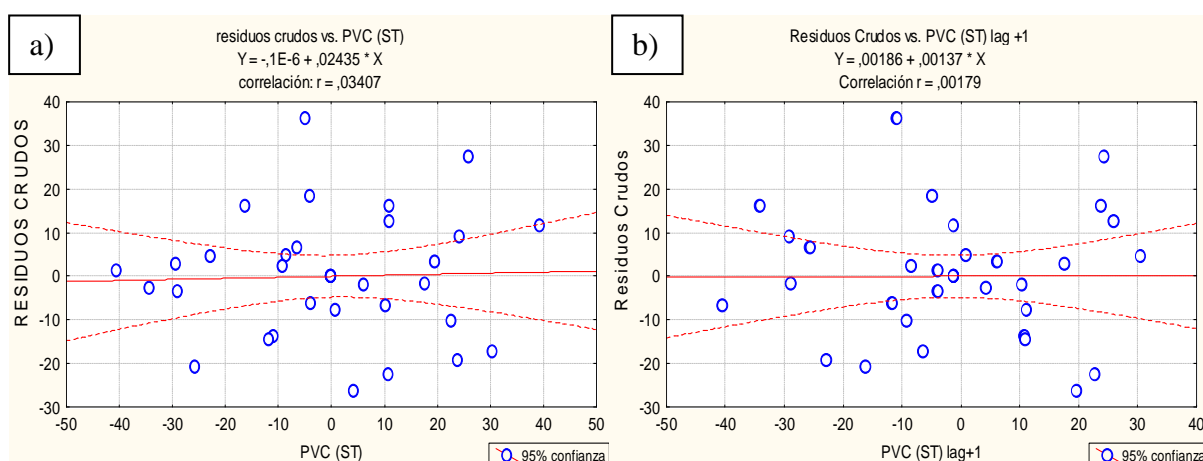


Figura 2: Puntos de dispersión entre residuos y las variables independientes (círculos): a) precipitación en el verano actual sin tendencia (PVC (ST)) y b) en el verano anterior sin tendencia (PVC (ST) lag-1). Líneas de regresión lineal, ecuación de la recta de regresión, coeficiente de correlación y bandas de significancia.



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 (daño directo) y por la asfixia radicular debido al anegamiento prolongado causado por un exceso de agua durante lluvias torrenciales de verano (daño indirecto) (Gil y Pszczólkowski, 2007). A su vez las lluvias excesivas, en general, causan efectos negativos cuando favorecen el desarrollo de enfermedades criptogámicas, principalmente peronóspora, oidio y botrytis. Estas enfermedades fúngicas, afectan la superficie foliar fotosintéticamente activa y pueden afectar los racimos, tanto como bayas verdes o en etapa de maduración (Gil y Pszczólkowski, 2007). Es decir que las condiciones de humedad durante la estación cálida próxima a la vendimia 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 que se dan durante la estación cálida del año anterior a la vendimia, 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 del año anterior son relevantes. Es decir que las correlaciones inversas y significativas de la PPP enero y de marzo del año anterior con Rinde pueden deberse a deterioro de yemas por destrucción de granizo.

Con el fin de verificar que nuestro índice PVC (que incluye tanto precipitación líquida como sólida) detecta efectos de variación en la ocurrencia de granizo se correlaciona el índice sin tendencia con la serie de superficie dañada por granizo (SDG) en todos los oasis, 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 podría llegar a estar asociada a la campaña antigranizo (figuras no mostradas) por ello es conveniente su filtrado. La Figura 3 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 de intervalo de confianza. Esto significa que las variaciones de la precipitación explican algo más del 30% de la varianza del 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.

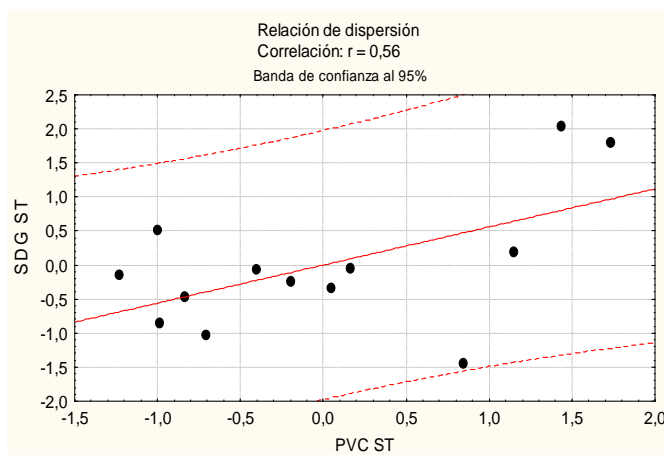


Figura 3: Relación lineal entre la superficie dañada por granizo (SDG ST) en todos los oasis y la precipitación de verano en Cuyo (PVC ST), ambas sin tendencias, calculado para N=13. Los valores de SDG se muestran tipificados.



Por lo tanto, la relación establecida entre índice PVC y el rendimiento de vid refleja por un lado el daño de brotes y yemas debido a granizo ocurrido en algún momento del verano del año anterior y por el otro el exceso de agua que produce anegamiento y predispone a enfermedades fúngicas en algún momento del verano previo a la vendimia.

2- Variaciones en baja frecuencia

El análisis espectral de Fourier permite determinar las bandas temporales de densidad de energía que determinan los ciclos dominantes en las series. Los espectros de Fourier tanto para las series de Rinde y PVC (Figura 4) 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 5). Esto quiere decir que ambos procesos asociados a la precipitación que afectan el cultivo de vid y su producción, la destrucción por granizo durante el verano anterior y el exceso de agua en el verano previo a la vendimia, se transfieren a la baja frecuencia como un proceso fluctuante a lo largo de una década.

Este resultado es relevante ya que según Compagnucci y otros (2002) 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. Está bien establecido que la variabilidad tipo-El Niño presenta cambios de fases en los veranos australes 1945/56 y 1976/77 (Mantua y otros 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 de las últimas tres décadas con ligera tendencia negativa (Compagnucci y otros 2002) que se profundiza a partir de los 2000s, probablemente inaugurando otra fase negativa (sequía) de muy baja frecuencia (Agosta y Compagnucci 2008). Estos dos últimos cambios de muy baja frecuencia están incluidos en el período de análisis del rendimiento de la vid.

De lo anterior se deduce que nada impide que los efectos de la precipitación en escala regional y climática no puedan mantenerse 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 (Agosta y Compagnucci 2008b). Por tanto, 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

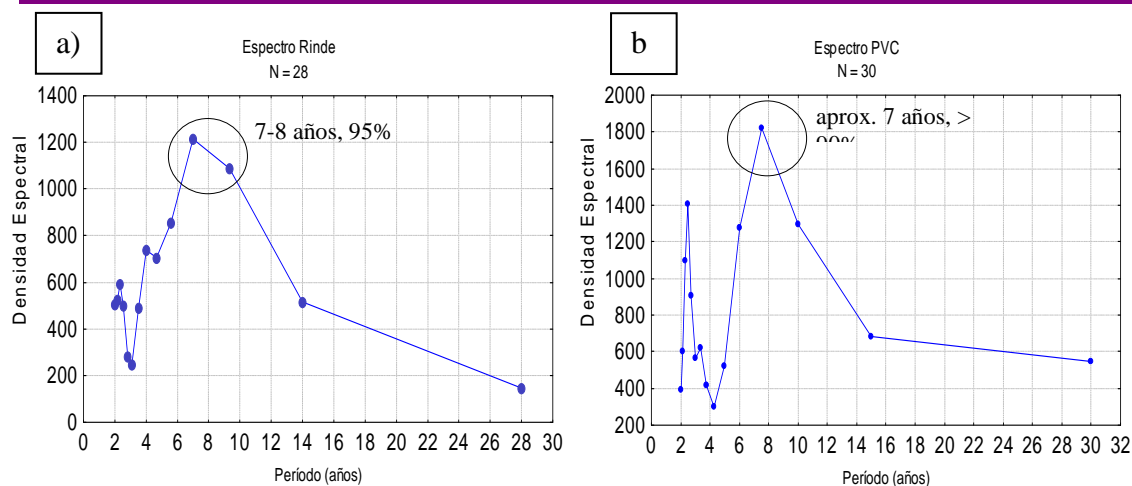


Figura 4: Espectros para a) la serie de rendimiento de vid sin tendencias (Rinde) y b) la precipitación de Cuyo sin tendencias (PVC), expresados en períodos. Picos espectrales significativos de acuerdo al espectro asociado de continuo nulo de ruido “blanco” markoviano (dado que la autocorrelación para lag=1 es significativamente nula para ambas series) siguiendo las sugerencia de (Jenkins y Watts 1968).

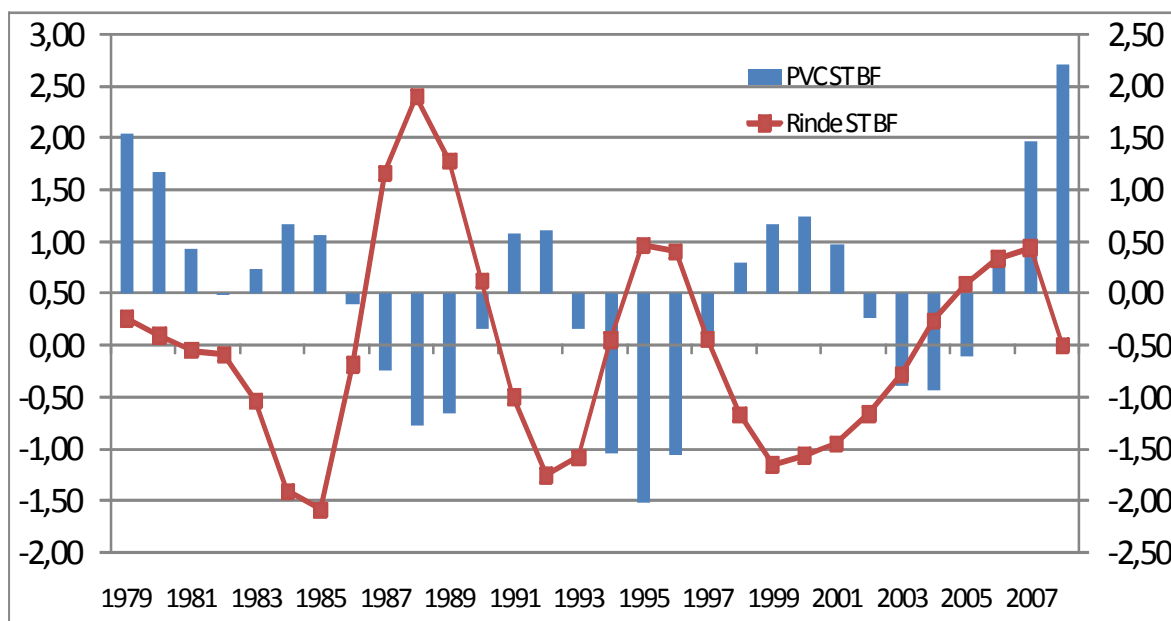


Figura 5: Series filtradas paso-bajo de baja frecuencia (ondas mayores o iguales a 6 años) de la precipitación de verano en Cuyo sin tendencias (PVC ST BF, barras) y del rendimiento de vid en Mendoza (Rinde ST BF, línea con cuadro). Eje izquierdo valores tipificados de Rinde y eje de la derecha, valores del índice PVC.

3- El rendimiento de la vid y efectos de variaciones en el ciclo anual de la precipitación y la temperatura

En esta sección se analiza la relación entre el rendimiento de la vid y la precipitación y temperatura (máxima y mínima) a lo largo de los meses previos a la vendimia. La vendimia comienza a mediados de febrero y finaliza al término de abril, por lo que el grueso de la vendimia usualmente se ubica en torno al mes de marzo. Se considera en este caso una campaña al período que se extiende desde mayo de un año a marzo del siguiente.



3.1- Relación entre rendimiento de vid y precipitación

La correlación entre el rendimiento sin tendencia (Rinde ST) y la precipitación mensual durante el año anterior a la vendimia (lag=-1), muestra valores de coeficiente significativos para los meses de enero ($r=-0,59$, para $\alpha<0,01$), marzo ($r=-0,35$, para $\alpha<0,10$), noviembre ($r=-0,36$, para $\alpha<0,10$) y diciembre ($r=-0,49$, para $\alpha<0,01$). En cada uno de estos meses la correlación es negativa, por lo que la relación entre precipitación y Rinde ST es inversa. Para los meses estivales del año de vendimia, las correlaciones obtenidas siguen siendo negativas aunque no son significativas. Nótese que tanto enero como marzo del año anterior forman parte de la campaña de la vendimia del año anterior. Aquí estamos viendo entonces un posible efecto remoto ya detectado en términos regionales mediante el índice anual PVC de la sección anterior.

La Figura 6 muestra la marcha de las series SDG sólo en el Oasis Este y PPP acumulada (PPP acum.) entre octubre y marzo, que es el período de mayor actividad convectiva en el área de Cuyo (Agosta y otros 1999). El período comprendido es de las vendimias 1994 a 2006. El coeficiente de correlación entre ambas series es de 0,64, significativo al nivel 2%. Se observa que la PPP acumulada de verano acompaña el comportamiento de menor frecuencia que da el quiebre de tendencia, de positiva hasta el 2000 a negativa hacia el 2006. Es notable la fuerte relación directa entre mayor (menor) precipitación estival y mayor (menor) daño por granizo dentro del Oasis Este. Recordemos que en el período actual (1979-2008), la tendencia de la precipitación estival es ligeramente negativa aunque no significativa y se acentúa desde comienzos del 2000 hasta el presente, por lo que cabría esperar que el daño por granizo en el Oasis Este, al menos, siga en decrecimiento.

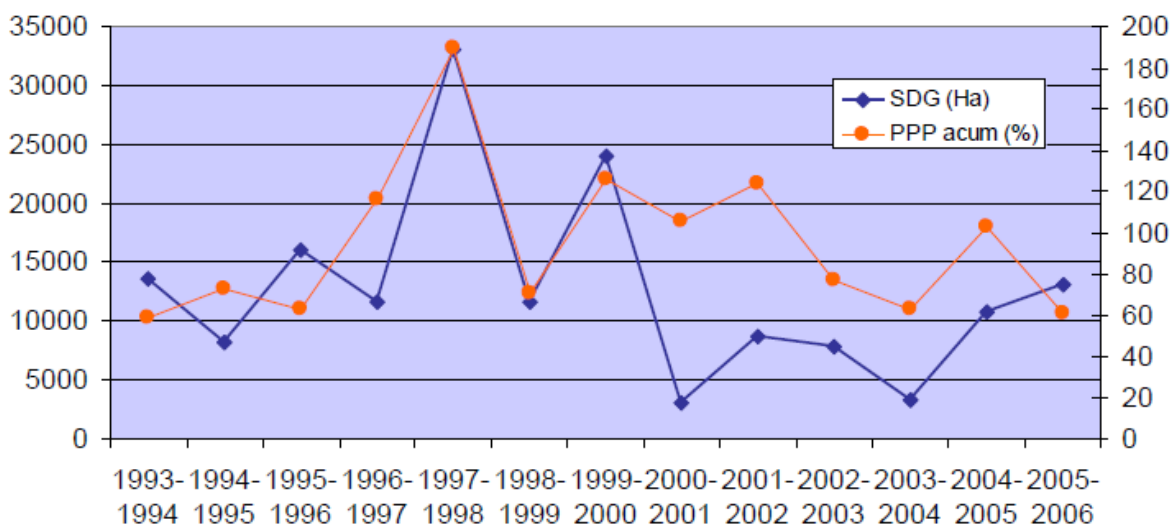


Figura 6: Superficie dañada por granizo en el Oasis Este (SDG en hectáreas, Ha) y precipitación estival acumulada entre octubre y marzo en MZA (PPP acum) expresada como porcentaje (%) de la media estival del período 1978-2008.

3.2- Relación entre rendimiento de vid y temperatura

Otro factor relevante es la temperatura y su incidencia en el crecimiento de los racimos en las distintas etapas del ciclo fenológico. Tanto el crecimiento como la productividad de los racimos dependen de la asimilación de carbono en la fotosíntesis y su posterior translocación y localización, todo esto regulado por la temperatura. (Sotés, 2004).

El rendimiento de vid sin tendencia (Rinde ST) y la temperatura mínima media (Tmin) muestra únicamente correlación significativa y positiva en el mes de diciembre sin tendencia ($r=0,37$, al nivel 1%). Por el contrario, las Tmax ST



muestran correlaciones significativa y positivas en enero para el año anterior ($r=0,33$ al nivel 10%), junio ($r=0,42$ al nivel 5%), julio ($r=0,46$, al nivel 2%), noviembre ($r=0,51$ a más del nivel 1%) y diciembre ($r=0,48$, al nivel 1%). Los meses estivales de noviembre y diciembre parecen ser decisivos en el rendimiento de la vid.

Cuando se correlaciona Rinde ST con el rango mensual ($RT=T_{max}-T_{min}$), se encuentra que la correlación es significativa para junio ($r=0,36$), noviembre ($r=0,46$) y diciembre ($r=0,39$).

Para noviembre y diciembre las temperaturas medias máximas son importantes dado que influyen decisivamente en el cuaje y crecimiento de las bayas. Esto afecta directamente el peso final del racimo y el rendimiento total de las plantas. El rango de temperatura si bien es importante en estos meses, afectaría más que nada la calidad de los frutos, en la cantidad y calidad de compuestos polifenólicos que inciden en la calidad del vino producido, pero no la cantidad de racimos obtenidos (Pszczólkowski y otros, 2002; Santibáñez, 2002; Rosier et al., 2004, etc.). Por consiguiente la amplitud térmica RT correlaciona con rinde en noviembre y diciembre, porque sigue a T_{max} que es la que realmente parece estar afectando.

De la misma manera, la T_{max} de junio y julio pueden estar influyendo en la formación de racimos, en calidad y cantidad. En estos meses las yemas de la vid se encuentran en fase de ecolatencia (o ecodormición), durante la cual las mismas están en condiciones de brotar pero no lo hacen hasta que las primeras temperaturas cálidas de primavera les permitan una salida de ese estado y aseguren el normal desarrollo de los nuevos brotes (Pinto y otros, 2009). La T_{max} de enero, sin embargo, parece responder vía la precipitación de ese mes, que tiene efectos importantes por su relación con la producción de granizo.

Una pregunta que surge es saber si la variable temperatura máxima y precipitación tienen correlación significativa con el rendimiento en diciembre porque estas dos variables meteorológicas correlacionan inversamente mutuamente ($r(T_{max}ST_{nov}, PPPST_{dic})=-0,40$ y $r(T_{max}ST_{dic}, PPPST_{dic})=-0,37$, significativos al nivel de 5%); o bien, hay un efecto real posible sobre el cultivo como los que se ha explicado anteriormente. De los valores de correlación entre T_{max} y PPP se deduce que las variaciones interanuales de la precipitación de diciembre tienen relación inversa con las de temperatura máxima media del mes anterior (noviembre) y el mismo mes. Para responder a la pregunta, primero se estimaron las correlaciones parciales entre Rinde ST y PPP ST de diciembre sin el efecto lineal de T_{max} ST de noviembre y diciembre, respectivamente. Luego, se estimó la correlación parcial de Rinde ST con T_{max} ST en diciembre sin el efecto de PPP en diciembre. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Correlaciones parciales entre el rendimiento de la vid (Rinde) y precipitación (PPP) y temperatura máxima (T_{max}) en diciembre sin tendencias, sin el efecto lineal de las otras variables sin tendencias en noviembre y diciembre. *: Significativo a $\alpha=0,10$. **: Significativo a $\alpha=0,05$. ***: Significativo a $\alpha=0,02$.

	PPP _{dic} / sin T _{max} _{dic}	PPP _{dic} / sin T _{max} _{nov}	PPP _{dic} / sin T _{max} _{nov-dic}	T _{max} _{dic} / sin PPP _{dic}	T _{max} _{dic} / sin PPP _{nov}	T _{max} _{dic} / sin PPP _{nov-dic}
Rinde	-0,40 **	-0,42 **	-0,33 *	0,38 **	0,46 ***	0,38 **

Los valores de correlación parcial obtenidos revelan que si bien precipitación y temperatura máxima se hallan significativamente correlacionadas en forma inversa en diciembre, estas variables tienen un efecto neto real cada una por separado sobre el rendimiento de la vid en la vendimia próxima. Se observa que la precipitación de diciembre (PPP_{dic}) está algo condicionada con el comportamiento conjunto de la temperatura máxima (T_{max}) de noviembre y diciembre. Es decir,



cerca del 21% de la varianza de la PPP_{dic} se explica por la varianza de Tmax_{nov-dic}. Esto indica que las temperaturas máximas medias estuvieron en su rango óptimo desarrollando con normalidad la floración, polinización y el cuaje (Santibáñez, 2002). Con todo PPP_{dic} arroja valores significativos con el rendimiento de la vid, al menos con una confianza del 90%.

4- En síntesis: Efecto del clima en el rendimiento de vid

El análisis realizado define que de los parámetros climáticos analizados, hay 8 variables con efectos cuantitativos directos sobre el rendimiento de la vid. Éstas son: la precipitación en los meses de noviembre y diciembre del verano inmediato a la vendimia, y la precipitación durante enero y marzo del verano del año anterior; junto con la temperatura máxima de junio y julio (invierno) y de noviembre y diciembre (primavera tardía y comienzos de verano). Esto permite diseñar un modelo lineal de regresión múltiple entre estas variables y el rendimiento de vid para determinar el efecto conjunto de estas variables.

Utilizando todos los parámetros, la varianza explicada por el conjunto de variables climáticas es 51%. Sin embargo si se busca economizar parámetros y mantener el mejor ajuste, el coeficiente cuadrado ajustado de regresión múltiple arroja el mejor resultado empleando solamente 5 parámetros ($R_{aj}^2=0,352$), a saber, precipitación de enero y marzo del verano del año anterior a la vendimia, precipitación de diciembre, temperatura máxima de julio y de diciembre. Para este modelo la varianza explicada es cercana al 47%. La distribución gaussiana de los residuos obtenidos con uno y otro modelo permite confiar en la bondad de cada modelo predictor.

En consecuencia, el análisis multiregresional permite afirmar que cerca del 50% de la variabilidad interanual del rendimiento de la producción de vid en Mendoza está explicada (y depende directamente) de las variaciones interanuales en el clima.

CONCLUSIONES

El rendimiento de la vid en Mendoza y la precipitación de verano están significativamente relacionados en forma inversa a lo largo de la 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, desfoliación por intensidad de lluvias, anegamiento prolongado, proliferación de enfermedades, etc.) durante el verano actual de la cosecha. Esto se traduce en la existencia de períodos 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.

El análisis de la variabilidad interanual de la precipitación dentro del ciclo anual y su relación con la producción de vid en Mendoza permite deducir los meses involucrados en los dos mecanismos que afectan negativamente la vid. Por un lado, el exceso de agua que afecta la floración y cuaje de los racimos es notable para noviembre y diciembre. Por el otro, el impacto de la destrucción del cultivo debido a granizo, que genera disminución parcial o total de parcelas enteras para la cosecha siguiente, ocurre principalmente en enero y marzo del verano anterior y en parte durante diciembre del verano próximo a la vendimia, este último afectando directamente los racimos.

También la temperatura en las distintas etapas del ciclo fenológico del cultivo juega un rol importante en la producción final de la vid. Los resultados muestran



que la temperatura media máxima (T_{max}) en invierno (junio y julio) junto con la de primavera tardía (noviembre) y comienzos de verano (diciembre) tienen un rol preponderante y directo en el rendimiento obtenido en la cosecha siguiente. Estos dos últimos meses muestran la mayor correlación positiva con cerca del 25% de varianza explicada. Las temperaturas medias máximas de noviembre y diciembre son importantes para el cultivo de vid dado que influyen decisivamente en el cuaje y crecimiento de las bayas. Si bien la amplitud térmica es un parámetro esencial para determinar aptitudes de cultivo, se encuentra que la variación interanual de la amplitud térmica media mensual, en cambio, no parece tener un rol definido sino más bien seguir el comportamiento de la T_{max} en su relación con el cultivo tanto en junio como noviembre y diciembre.

El análisis nos permite concluir que el clima regional afecta directamente el rendimiento de vid en Mendoza en un 50% de su varianza interanual. Es decir que el éxito o fracaso en el rendimiento de vid depende por igual tanto del manejo del cultivo y la vendimia (manejo cultural del viñedo y cosecha) como del clima predominante durante el año anterior (de enero a diciembre) a la vendimia que acontece entre mediados de febrero y abril siguientes. Esto da una chance para estimar cuantitativamente el rendimiento del cultivo con unos tres a cuatro meses de anticipación.

Agradecimientos:

A los proyectos PICT 2007-01888 y PICT 2007-00438 de la Agencia Nacional (SECYT). A *O. Carm.* por toda su ayuda.

Referencias:

- Agosta, E.A., M.A. Cavagnaro y P.O. Canziani, 2009. Principales factores climáticos asociados al rendimiento de vid en Mendoza durante las últimas tres décadas. Póster en "XIII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología (CLIMET XIII)" y "X Congreso Argentino de Meteorología" (CONGREGMET X). 5 al 9 de octubre de 2009, Buenos Aires, Argentina.
- Agosta, E. A. y M.A. Cavagnaro, 2009: Variaciones interanuales de la precipitación de verano y el rendimiento del cultivo de la vid en Mendoza. GEOACTA. Enviado.
- 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.
- 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. Meteorológica. , v.24, n.1 y 2, 63 – 84.
- 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.
- 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.
- Jenkins and Watts, 1968, *Spectral Analysis and Its Applications*, Holden-Day, pp 525.
- 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.
- Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV), 2007: Situación y estadísticas del sector vitivinícola mundial.
- Pinto, Manuel, W. Lira, H. Hugalde y F. Pérez , 2009: “Fisiología de la latencia de las yemas de la vid: hipótesis actuales”. [en línea] BuscAgro – Directorio temático agropecuario y de ciencias afines [fecha de consulta: 5 de noviembre de 2009]. 16 pág. Disponible en: <<http://www.buscagro.com/Detailed/50502.html>>. También disponible en: <<http://www.uvademesa.cl/ARCHIVOS%20PDF/Fisiologia%20Latencia%20Yemas%20Vid.pdf>>
- Pszczółkowski, Ph., Alemparte, E., y Cárdenas, M.I. 2002. “Aplicaciones del índice bioclimático de calidad de Fregoni simplificado en diversas áreas vitivinícolas de Chile: proposición del uso de su evolución”. En: *Tópicos de Actualización en Viticultura y Enología*. Editores: Pszczółkowski, Ph., González, A., Horman, G. Pontificia Universidad Católica de Chile. 243 pp.
- Rosier, J. P.; Briguenti, E.; Schuck, E; Bonin, V. 2004. 2Comportamento da variedade Cabernet Sauvignon cultivada em vinhedos de altitude em São Joaquim” - SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 8., 2004, Florianópolis. Anais... 2004.
- Santibáñez, F. 2002. Influencia del clima en la producción vitivinícola. En: *Tópicos de Actualización en Viticultura y Enología*. Editores: Pszczółkowski, Ph., González, A., Horman, G. Pontificia Universidad Católica de Chile. 243 pp.
- 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: Febrero 2010

Aceptado: Marzo 2010

NDLR: Si desea contactarse con alguno de sus autores comuníquese a enologia@revistaenologia.com