

## **Delimitación y descripción de regiones vitícolas del Uruguay en base al método de clasificación climática multicriterio utilizando índices bioclimáticos adaptados a las condiciones del cultivo**

Ferrer, M.<sup>1</sup>; Pedocchi, R.<sup>2</sup>; Michelazzo, M.<sup>1</sup>; González Neves, G.<sup>3</sup>; Carbonneau, A.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Departamento de Producción Vegetal.*

<sup>2</sup> *Unidad de Sistemas Ambientales Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Av. Garzón 780. Montevideo, Uruguay.*

<sup>3</sup> *Laboratorio de Análisis y de Investigaciones, Instituto Nacional de Vitivinicultura (INAVI) y Unidad de Tecnología de los Alimentos. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Av. Garzón 780. Montevideo, Uruguay.*

<sup>4</sup> *Agro M. INRA, UMR Sciences pour l'oenologie, F-34060 Montpellier, France.*

Recibido: 10/11/2006 Aceptado: 21/6/2007

### **Resumen**

Las correlaciones entre los factores: clima, rendimiento, composición de la baya y crecimiento vegetativo individualizan la vocación vitícola de una zona. Los índices bioclimáticos diferencian, describen y delimitan estas zonas. Para calcular los índices: Sequía, Heliotérmico y Frescor nocturno, se procesó la información (1961 – 1990) de 23 estaciones meteorológicas, distribuidas en todo el país. Se aplicó el método de Clasificación Climática Multicriterio y análisis multidimensional: Componentes Principales y Cluster, cartografiados con el programa "SPRING". Los resultados muestran la diversidad climática del Uruguay. Se identificaron y caracterizaron seis tipos climáticos y delimitaron seis regiones. La mayor superficie vitícola está influenciada por masas de agua, e implantada según la clasificación, en dos tipos de clima: a) sequía moderada, templado y noches templadas, b) sequía moderada, templado cálido, noches cálidas, condiciones favorables a la maduración y expresión de componentes de la calidad. La mayoría del país se encuentra en la clasificación correspondiente a condiciones de sequía moderada, que permitirían condiciones favorables para la maduración por detención temprana del crecimiento vegetativo. Los valores del IH indican que no habría restricciones para implantación de viñedos. El IF ubica gran parte del territorio en valores de temperaturas nocturnas favorables a la síntesis de metabolitos secundarios positivos. El Índice de la *Temperatura del mes más cálido* diferencia y delimita seis zonas que sigue la tendencia encontrada con CCM, representando una primera aproximación a la zonificación vitícola. Los vinos de las distintas regiones, presentaron diferencias significativas en: contenidos de alcohol, acidez total, pH, extracto seco y ácido tartárico.

**Palabras clave:** clima vitícola, índices climáticos, zonificación vitícola

### **Summary**

## **Delimitation and description of grape-growing regions of Uruguay based on the multicriteria climatic classification system using bioclimatic indexes adapted to culture conditions**

The correlations among factors: climate, yield, berry composition and vegetative growth individualize the grape-growing vocation of a zone. The bioclimatic indexes differ, describe and delimit basic grape-growing zones and explaining the response plant-environment. In order to calculate the indexes: Dryness, Heliothermal and Cool Night, information (1961-1990) of 23 meteorological stations distributed in the whole country, was processed. The Multicriteria Climatic Classification System and multidimensional analysis: Principal Components and Cluster,

were applied, and mapped using the “SPRING” software. Six climatic types were identified and characterized, being delimited six grape-growing regions. Major wine-growing surface is influenced by water masses, and implanted according to the classification, in two types of grape-growing climates: a) *moderately dry, moderate and temperate nights*, b) *moderately dry, temperate warm and warm nights, favourable conditions to the ripeness and quality components expression*. The majority of the country corresponding to conditions of moderately dry, that would allow favourable conditions of ripeness for early vegetative growth detention. The HI values indicate that there would be no restrictions for implantation of vineyards. The CI locates great part of the territory in night temperatures values favourable to the synthesis of positives secondary metabolites. The *Index the Temperature of the hottest month* differentiates the territory. The six zones delimitation, through this simple index, follows the tendency of CCM, therefore it might represent the first approach to the grape-growing zoning. The wines of the different regions, presented statistical differences in: alcohol contents, total acidity, pH, dry extract and tartaric acid.

**Key words:** viticultural climate, climatic indexes, viticultural zoning

## Introducción

Las correlaciones entre los factores: clima, producción, composición de la baya y crecimiento vegetativo de la viña son la base de la individualización de la vocación vitícola de una zona en función de los objetivos enológicos esperados. La investigación de índices bioclimáticos capaces de diferenciar, describir y delimitar zonas vitícolas es un desafío para los países vitícolas del “nuevo mundo”, estrategia ya adoptada por los países productores tradicionales. Estos índices tienen en cuenta los principales elementos del clima que impactan sobre la fisiología de la planta y en el proceso de la maduración de la uva: temperatura del aire, balance hídrico y luz. La delimitación climática será el punto de partida para la identificación de *terroir* vitícolas los que revisten interés tanto desde el punto de vista del conocimiento de la respuesta de la planta a las condiciones del medio, como para su explotación comercial. (Deloire *et al.*, 2003).

Las temperaturas, diurnas y nocturnas, y la luz, influyen sobre la evolución de la composición de la uva: acumulación de azúcares (Buttrose *et al.*, 1971, Kliewer *et al.*, 1972; Caló *et al.*, 1996) degradación de los ácidos y aumento del pH, síntesis y degradación de compuestos fenólicos (Coombe, 1992, Caló *et al.*, 1996; Spayd *et al.*, 2002; Tomasi *et al.*, 2003), evolución de los aromas (Caló *et al.*, 1996).

Huglin (1978) ha propuesto un Índice Heliotérmico (IH) que tiene en cuenta las condiciones térmicas favorables a la actividad fotosintética durante la fracción iluminada del día y se calcula para un período de seis meses comprendido entre el 1 de abril y el 30 de setiembre para el HN. Huglin y Schneider (1998) estiman que el límite inferior de las posibilidades del cultivo de la vid se alcanza con un valor de 1400 de su IH. Para

obtener una tasa de azúcares del orden de 180-200 g/L para los cepajes Merlot y Cabernet - Sauvignon el valor de IH es de 1900.

La temperatura máxima del mes más cálido es utilizada para la zonificación vitícola en Sud Africa y Nueva Zelanda (Villiers, 1997 y Smart y Gwalter, 2006). Estos autores han encontrado una relación entre esta temperatura (valores superiores a 25° C y los vinos de calidad superior.

Índice de Frescor de Nocturno (IF) propuesto por Tonietto (1999) cuantifica los efectos de las bajas temperaturas nocturnas, durante el mes previo a la cosecha, mes de setiembre en el HN, sobre la síntesis de metabolitos secundarios como los polifenoles y aromas. Los valores favorables durante la maduración se sitúan en torno a los 16° C.

Van Leuween *et al.* (1998) y Van Leuween *et al.* (2004) trabajando con la variedad Merlot concluyen que las variaciones del vigor de las plantas y del potencial enológico pueden ser explicadas por las diferencias de alimentación hídrica, según la diferente capacidad en retener agua de los suelos donde estaban implantados los viñedos. Los suelos con baja capacidad de retención presentan déficit hídrico temprano en la estación, que tendrá como consecuencia una detención del crecimiento vegetativo, contribuyendo a los procesos relacionados con una mejora de la calidad de la uva.

El Índice de Sequía (IS), basado en el *Balance Hídrico Potencial de Riou* (Riou *et al.*, 1994), permite caracterizar la componente hídrica del clima, indicando la presencia o ausencia de sequía de una región vitícola. Se basa en la disponibilidad de agua en el suelo al comienzo del ciclo del cultivo, estimada en 200 mm, la demanda climática potencial del viñedo, la evaporación de un suelo desnudo y la lluvia caída durante ese período. Los mejores resultados en la calidad

de la uva se obtienen cuando las plantas están sometidas a condiciones de estrés hídrico moderado durante el período de la maduración (Deloire *et al.*, 2001; Ojeda *et al.*, 2005).

Tonietto (1999) y Tonietto y Carbonneau (2004) han propuesto la caracterización del clima vitícola a escala mundial con tres índices combinados según la metodología de “*Clasificación Climática Multicriterios*”. Los índices seleccionados por los autores son: el *Heliotérmico*, el de *Sequía* y el de *Frescor Nocturno*, en la medida que éstos son complementarios. Este sistema ha sido empleado para la zonificación vitícola de regiones de Brasil (Tonietto, 2006) y de la región Metropolitana de Chile (Montes, 2006).

Los principales factores que modifican el clima de un lugar (fundamentalmente la temperatura), son la latitud, la altitud, la exposición y la proximidad a masas de agua, y han sido estudiados, entre otros autores, por Bonnardot, (2003) y Myburgh (2005) en Sud Africa. Según sus resultados estos factores actúan sobre la temperatura mínima o nocturna por el efecto de la brisa marina que se registra hasta una distancia máxima de 35 kilómetros de la costa, influyendo en la composición de la uva.

El primer antecedente en nuestro país de estudios que tengan en cuenta las necesidades climáticas de la viña fue realizado por Enrich y Ferrer (1991). Estos han propuesto un Índice de Cero de Vegetación basado en trabajos de Ferrer y García (1992) sobre la cuantificación de la necesidad de bajas temperaturas para la culminación del proceso de dormición de las yemas de vid en las condiciones de Uruguay. Con este índice fue posible delimitar 4 zonas. La región sur con un valor del índice de 13° C y la extrema norte de 16° C. A partir de este índice simple se pudo poner en evidencia la variación climática espacial del país en relación al cultivo de la vid.

En el presente trabajo se propone el análisis de los tipos climáticos a nivel del país y la determinación de zonas climáticas homogéneas utilizando Índices bioclimáticos adaptados a la vid: Heliotérmico, Sequía y Frescor nocturno. Para su cálculo se consideraron, el ciclo del cultivo, la reserva útil real de los suelos y el mes promedio de cosecha, utilizando como método el de la Clasificación Climática Multicriterio. Se propone también analizar la Temperatura media máxima del mes más cálido como índice para delimitar zonas vitícolas.

## Materiales y métodos

### Datos climáticos

Para el cálculo de los índices se utilizaron datos del período climáticos 1961 – 1990 provenientes de 19 estaciones de la red meteorológica nacional y de 4 estaciones agrometeorológicas del INIA las estaciones meteorológicas están instaladas y operadas de acuerdo a las normas técnicas propuestas por la Organización Mundial de Meteorología y distribuidas en todo el territorio. Se obtuvieron así 23 valores de cada uno de los índices correspondiente a cada estación.

### Índices climáticos

#### Índice Heliotérmico de Huglin Adaptado (HS)

$$IH = \Sigma \{ (T_{med} - 10 + (T_{Max} - 10)) / 2 \cdot k$$

La suma de las temperaturas es efectuada para el período comprendido entre el 1<sup>er</sup> setiembre y el 28 febrero.

T med = temperatura media del aire (° C),

T Max = temperatura máxima del aire (° C)

k = coeficiente según latitud correspondiendo para todo el Uruguay un valor de 1.

Los valores del Índice dan lugar a seis clases de clima (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clases de clima de acuerdo al valor del Índice Heliotérmico – IH.

| Clase de clima  | Sigla           | Intervalo de clase |
|-----------------|-----------------|--------------------|
| Muy fresco      | IH <sub>1</sub> | >1500              |
| Fresco          | IH <sub>2</sub> | >1500 d»1800       |
| Templado        | IH <sub>3</sub> | >1800 d» 2100      |
| Templado cálido | IH <sub>4</sub> | >2100 d» 2400      |
| Cálido          | IH <sub>5</sub> | >2400 d» 3000      |
| Muy cálido      | IH <sub>6</sub> | >3000              |

Según Tonietto (1999).

*Índice de Sequía Adaptado (IS)*

en la base al Balace Hídrico Potencial de Riou (HS)

$$IS = W = W_o + P - TV - ES$$

- W = estimación de la reserva hídrica del suelo al momento de la cosecha  
 W<sub>o</sub> = reserva hídrica inicial útil del suelo explorable por las raíces  
 P = precipitaciones  
 TV = transpiración potencial del viñedo (ETP x k, donde

ETP = evapotranspiración potencial estimada por Penman, k = coeficiente estimado en función de la intercepción de la radiación solar), ES = evaporación directa a partir del suelo (ETP/N x (1-k) x JP<sub>m</sub>, donde N = número de días del mes y JP<sub>m</sub> = precipitaciones del mes en mm/5). El coeficiente “k” se incrementa según el estado de desarrollo del cultivo k = 0.1 para setiembre-octubre, 0.3 para noviembre y 0.5 para el periodo diciembre - febrero.

El balance hídrico se inicia el 1<sup>er</sup> de setiembre y para el cálculo a la reserva útil inicial de cada suelo (W<sub>o</sub>) se utilizaron los valores determinados para las diferentes asociaciones de suelos del Uruguay por Silva *et al.* (1988) y ajustados por Molfino y Califfra (2004). Estos valores varían desde inferiores a 40 mm a un máximo de 200 mm, estando el 80% de los suelos vitícolas comprendidos en el rango de 40 a 160 mm.

Los valores del Índice dan lugar a cinco clases de clima (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clases de clima según el Índice de Sequía –IS.

| Sequía    | Clase de clima    | Sigla            | Intervalo de clase (mm) |
|-----------|-------------------|------------------|-------------------------|
|           | Húmedo            | IS <sub>00</sub> | > 150                   |
| Ausencia  | Sub-húmedo        | IS <sub>0</sub>  | ≤ 151 > 51              |
| Presencia | Sequía moderada   | IS <sub>1</sub>  | ≤ 50 > -100             |
|           | Sequía fuerte     | IS <sub>2</sub>  | ≤ -101 > -200           |
|           | Sequía muy fuerte | IS <sub>3</sub>  | ≤ -201                  |

Según Tonietto (1999).

*Índice de Frescor nocturno (IF)*

$IF = \text{Temperatura mínima media del aire entre 15 de febrero y el 15 de marzo (medias de las mínimas en } ^\circ C).$

Para el cálculo del IF se consideró la fecha de cosecha más corriente para nuestras condiciones de cultivo y las temperaturas mínimas medias del 15 de febrero al 15 de marzo.

A partir de los valores de este índice se establecen cuatro clases climáticas (Cuadro 3).

*Índice de Temperatura máxima del mes más cálido (TMC)*

Para el cálculo del Índice de Temperatura Máxima se consideró el mes de Enero por ser el más cálido para nuestro país, en coincidencia con el comienzo o la plena maduración.

A partir de los valores de este índice se establecen cinco clases climáticas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Clases de clima según el Índice de Frescor nocturno –IF.

| Clase de clima        | Sigla           | Intervalo de clase (° C) |
|-----------------------|-----------------|--------------------------|
| De noches cálidas     | IF <sub>1</sub> | ≥18                      |
| De noches templadas   | IF <sub>2</sub> | ≥14 ≤17.9                |
| De noches frescas     | IF <sub>3</sub> | ≥12 ≤ 13.9               |
| De noches muy frescas | IF <sub>4</sub> | ≤11.9                    |

Según Tonietto (1999).

**Confrontación de la composición vinos provenientes de diferentes las zonas**

A fin de disponer de una primera validación de la zonificación propuesta se consideró la composición de los vinos analizados en un estudio realizado en los años 1996 y 1997 (González Neves, 1998) incluyendo 68 muestras de vinos tintos jóvenes categoría V.C.P. (Vinos de Calidad Preferente).

**Análisis estadístico, tratamiento y representación cartográfica de la información**

Los datos de los índices: Heliotérmico, de Sequía y de Frescor nocturno, fueron tratados por análisis multidimensional: Análisis en Componentes Principales (ACP) y Análisis Cluster (AC) este último con el objetivo de confirmar la correspondencia y los límites de las regiones delimitadas por el ACP. Previo al APC los datos fueron estandarizados. El AC es calculado aplicando el algoritmo jerárquico Ward, y el número de grupos es determinado por la pseudo- F (máximo relativo), traducido gráficamente en un dendrograma.

Las zonas correspondientes a los diferentes tipos climáticos y a la Temperatura Máxima de Enero fueron cartografiadas con el programa “SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling” (Camara *et al.*, 1996).

## Resultados y discusión

### Clasificación Climática Multicriterio según el cálculo de los índices adaptados a las condiciones del cultivo

De acuerdo a lo propuesto por Tonietto (1999) y Tonietto y Carbonneau (2004) se analizaron en forma conjunta las clases de los tres índices, Heliotérmico, Sequía y de Frescor. Los resultados son presentados sobre el ACP (Cuadro 4).

Cuadro 4. Clases de clima según el Índice de Temperatura máxima del mes más cálido – TCM.

| Clase de Clima  | Sigla             | Intervalo de clase (° C) |
|-----------------|-------------------|--------------------------|
| Fresco          | ITCM <sub>1</sub> | ≤28                      |
| Templado        | ITCM <sub>2</sub> | ≥28 ≤29                  |
| Templado cálido | ITCM <sub>3</sub> | ≥29 ≤ 30                 |
| Cálido          | ITCM <sub>4</sub> | ≥30 ≤ 31                 |
| Muy Cálido      | ITCM <sub>5</sub> | ≥32                      |

El componente principal 1 explica el 50% de la inercia total, el componente principal 2 el 28.6% y el componente principal 3, explica el 21.3%.

A partir de la *matriz de saturación* se puede decidir sobre que componentes se practica el análisis (Figura 1, Cuadros 5 y 6).

Con la incorporación del Análisis Cluster y basándose en el dendograma de posicionamiento de las estaciones meteorológicas se propone la clasificación climática que corresponde a seis tipos climáticos y delimita seis regiones vitícolas del país (Figura 2).

A partir de esta información las regiones así delimitadas, son cartografiadas con el programa “SPRING” (Figura 3).

Al Sur Este del país se delimita una región con tipo climático IH<sub>A3</sub> IF<sub>A2</sub> IS<sub>A1</sub>, que indica un clima vitícola de, *templado con noches templadas y sequía moderada*, flanqueado por una cadena de serranías de baja altitud (Cuchilla Grande) y sometida simultáneamente a

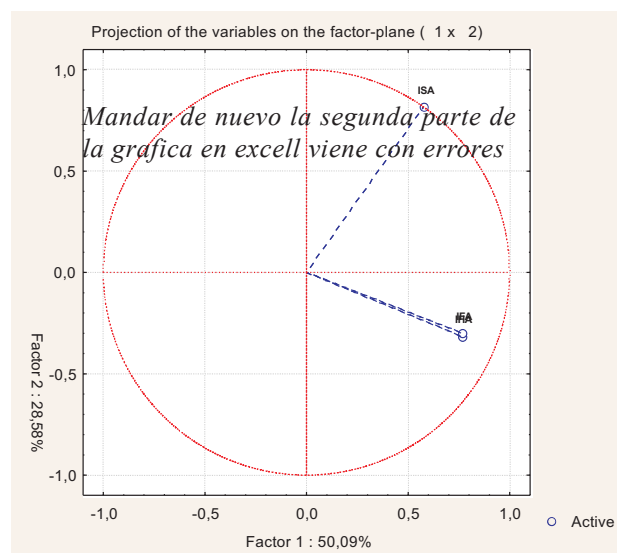
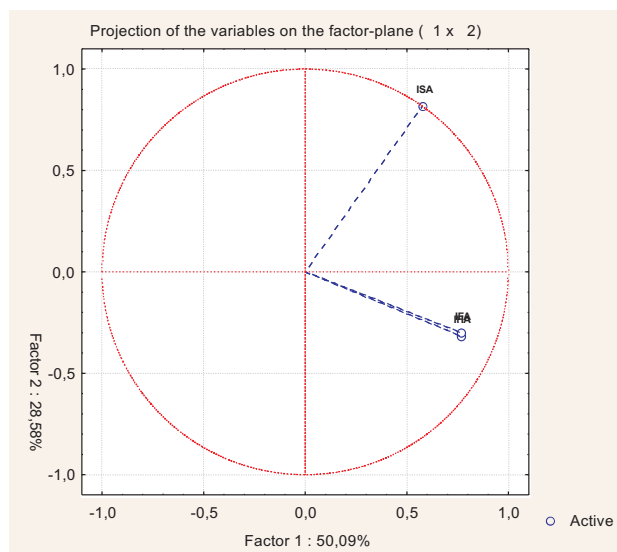


Figura 1. Análisis en Componentes Principales para los tres Índices climáticos adaptados (IS<sub>A</sub>, IH<sub>A</sub>, IF<sub>A</sub>) de las regiones vitícolas: posicionamiento de las regiones vitícolas.

Cuadro 5. Resultados Analisis Componentes Principales.

| Componentes principales | Valores propios | Proporción de la varianza total | Acumulado |
|-------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------|
| 1                       | 1.50            | 0.51                            | 0.50      |
| 2                       | 0.86            | 0.28                            | 0.79      |
| 3                       | 0.64            | 0.21                            | 1.00      |

Cuadro 6. Resultados representados en Análisis en Componentes Principales.

| Componentes principales | IHA    | IFA   | ISA   |
|-------------------------|--------|-------|-------|
| Comp                    | 10.7   | 60.77 | 0.58  |
| Comp 2                  | - 0.31 | -0.30 | 0.82  |
| Comp                    | 30.56  | -0.57 | 0.008 |

la influencia del Océano Atlántico y del estuario del Río de la Plata en acuerdo a lo señalado por Myburgh (2005).

La región al Sur Oeste, corresponde a  $IH_{A4} IF_{A1} IS_{A1}$ , es decir un clima vitícola de, *templado cálido, con noches cálidas y sequía moderada*, está situada sobre la ribera del estuario del Río de la Plata, y con un ancho aproximado a los 15 km. Esta región se caracteriza por la influencia que ejerce la brisa de mar sobre la temperatura nocturna, medida como frescor nocturno han señalado Bonnardot (2003).

La región Central de territorio más extendida se encuentra al Sur del Río Negro es clasificada como  $IH_{A4} IF_{A2} IS_{A1}$ , es decir con un clima vitícola *templado cálido con noches templadas y sequía moderada*.

Esta región es muy homogénea en relación a los Índices de Huglin y de Frescor de noches según se desprende del Análisis Cluster y las diferencias señaladas localmente son debidas al Índice de Sequía.

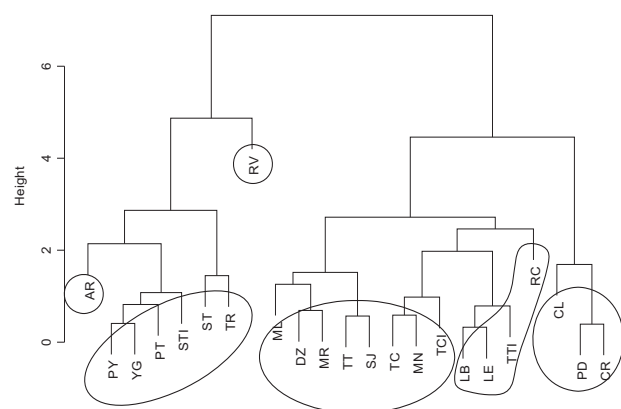


Figura 2. Análisis Cluster para los tres Índices climáticos adaptados ( $IS_A$ ,  $IH_A$ ,  $IF_A$ ) de las regiones vitícolas: Dendrograma de posicionamiento de las 23 estaciones meteorológicas.

Una cuarta región también vasta, es la situada en el Litoral Oeste, clasificada  $IH_{A5} IF_{A2} IS_{A1}$ , es decir un clima vitícola *cálido, con noches templadas y sequía moderada*, que al alejarse del Océano Atlántico presenta un carácter más continental. En esta región el Índice de Sequía señala mayores diferencias.

Complementariamente, se identifican dos regiones, la más pequeña ubicada al Noreste (proximidades de Rivera), clasificada como  $IH_{A5} IF_{A2} IS_{A00}$ , con un clima vitícola *cálido, con noches templadas y húmedo*. El mayor régimen de lluvias del norte se país y suelos con una fuerte proporción de arena caracterizan esta región vitícola. La otra zona, al Norte del país, es clasificada como  $IH_{A5} IF_{A1} IS_{A1}$ , es decir con un clima vitícola *cálido, con noches cálidas y sequía moderada*.

Esta delimitación tiene importancia porque en las dos primeras regiones situadas al sur este y sur oeste del país, se encuentra la mayor superficie de viñedos (Figura 3).

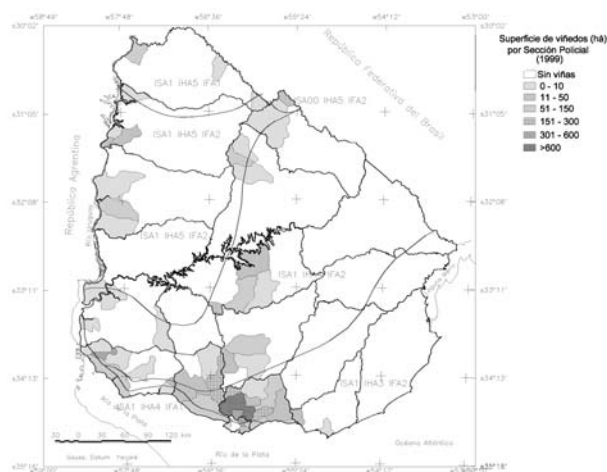


Figura 3. Clasificación climática multicriterio - Índices adaptados y delimitación de las regiones climáticas vitícolas. Distribución de viñedos.

La aplicación del método de *Clasificación Climática Multicriterio* (CCM) propuesta por Tonietto (1999) y Tonietto y Carbonneau (2004) ha permitido poner en evidencia la variabilidad espacial del clima de Uruguay. Se identificaron y caracterizaron seis tipos climáticos a la vez que fue posible delimitar seis regiones vitícolas en el país. Esta zonificación climática podrá ser la base metodológica para la delimitación de vitícolas. Se verifica que la mayor parte de la superfi-

cie de los viñedos uruguayos estarían afectados por la influencia de masas de agua e implantados en dos tipos de clima vitícola uno *templado, con noches templadas y sequía moderada* y el segundo *templado cálido, con noches cálidas y sequía moderada*. En general estas condiciones son favorables a la maduración y a la expresión de los componentes de la calidad.

### **Análisis de las condiciones climáticas en el que se desarrolla el cultivo y su aplicación a la gestión del viñedo**

Las condiciones en las que se desarrolla el cultivo puede ser examinada considerando los valores de los índices en forma individual. La mayoría del país se encuentra en la clasificación del *Índice de Sequía* correspondiente a condiciones de sequía moderada (IS1). Ello permite suponer que en general se deberían lograr condiciones favorables a la maduración como consecuencia de la detención temprana del crecimiento vegetativo, según lo afirmado por Van Leeuwen *et al.* (1998) y Van Leeuwen *et al.* (2004).

La zona donde están implantados más del 80% de los viñedos presenta en el promedio de los 30 años, un valor de IS de 30 mm, correspondiente a valores de estrés moderado, lo que puede explicar para algunos años, la detención del crecimiento y de la maduración según lo reportado por Guidoni *et al.* (2002). En algunas situaciones y en base al seguimiento de las condiciones hídricas del año, se podrían prever medidas de mitigación o de gestión diferencial de la cosecha.

Los valores del *Índice Heliotérmico* en nuestro territorio, se encuentran entre un mínimo de 1800 (IH3) y un máximo de 3000 (IH5), siendo por lo tanto superiores a 1400 indicado por Huglin (1988) como el límite inferior del cultivo de la vid. Esta información permite afirmar que no habría restricciones en el país para la implantación de viñedos. El mismo autor indica que es necesario un valor del índice de 1900 para que las variedades Merlot y Cabernet – Sauvignon alcancen a la madurez tenores de azúcares de 190 g/L. El valor más bajo que registra este índice a nivel del país, correspondería a la zona IH3, pero su valor en esta zona, está en el límite superior de la clase (2100). La variabilidad interanual de este índice comunicada por Pérez (2003) para las zona sur del país, podría explicar, que en algunos años no se alcancen en la cosecha, concentraciones elevadas de azúcares en estas variedades, en correspondencia con el valor histórico de este índice. El monitoreo anual de la evolución del índice, y en comparación con sus valores medios, permitiría anticipar medidas de ges-

ción en los rendimientos, o en la fecha de cosecha, a fin de obtener mayores concentraciones de azúcares en condiciones de años o situaciones límites así como en la toma de decisiones en bodega de acuerdo a la composición de la materia prima que se espera.

El *Índice de Frescor Nocturno* posiciona a gran parte del territorio en valores de temperaturas nocturnas favorables a la síntesis de metabolitos secundarios indicativos de la calidad, tal como han comunicado Tonietto (1999). El valor de 16° C está comprendido en el rango que le corresponde a IF1. En dos de las zonas determinadas en este estudio el índice aumenta a IF2, es decir «» a 18°C. Si bien ambas se encuentran en el límite inferior, pueden esperarse bien disturbios en el metabolismo secundario o pH altos, como es comunicado por Coombe (1992), Caló *et al.* (1996); Spayd *et al.* (2002), Tomasi *et al.* (2003). La gestión del follaje o la arquitectura de la planta, pueden ser las estrategias a priorizar en estas situaciones de cultivo.

Las temperaturas mínimas de 18° C de las zonas mencionadas tienen diferentes causas. En la zona sobre el Río de la Plata, sería consecuencia del incremento de la temperatura mínima debido a la influencia marítima tal como fue comunicado por Bonnardot (2003) para las condiciones de Sud Africa. Este efecto debería ser estudiado en profundidad en la medida que la mayor superficie de viñedo se encuentra cercana a masas de agua. La otra zona con temperaturas nocturnas más altas es la región ubicada en el extremo norte del país. En este caso se explicaría por una mayor influencia de la componente de la circulación atmosférica del clima. El anticiclón semi - permanente del Atlántico Sur genera a macro escala una circulación con vientos de componente norte y noreste, más cálidos y húmedos.

### **La Temperatura media Máxima del mes más cálido para delimitar zonas climáticas**

El Índice propuesto basado en la *Temperatura del mes más cálido* marca diferencias en el territorio. Las temperaturas máximas más bajas se registran en la zona sur, donde es marcada la influencia de las masas de agua, Océano Atlántico y Río de la Plata (Figura 4) en acuerdo con los resultados de Myburgh (2005) en Sud Africa. La delimitación de seis zonas, producto de este índice, sigue la tendencia encontrada con el método de Clasificación Climática Multicriterio (Figura 3) por lo que este índice simple, podría ser tenido en cuenta para representar una primera aproximación a la zonificación vitícola.

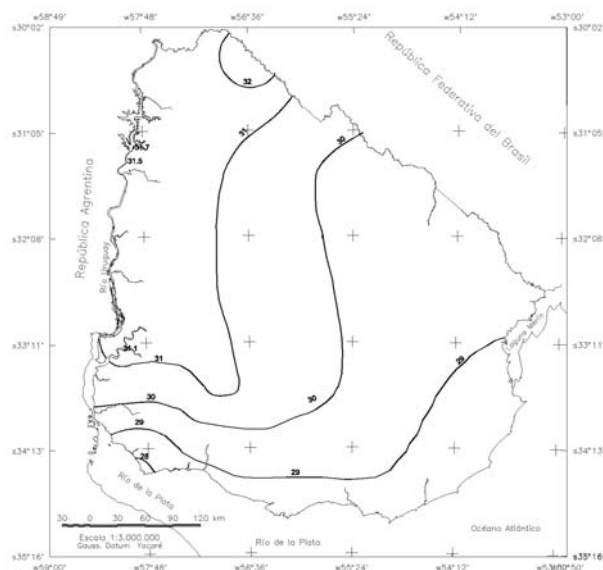


Figura 4. Clasificación climática Temperatura Máxima del mes más Cálido y Delimitación de las regiones climáticas vitícolas.

### Composición de los vinos provenientes de diferentes zonas

Los vinos procedentes de tres de las zonas delimitadas, presentaron diferencias estadísticas en sus contenidos de alcohol, acidez total, pH, extracto seco y ácido tartárico.

Los vinos del Sur ( $IH_{A3}$ ,  $IF_{A2}$ ,  $IS_{A1}$ ) y los del Litoral Norte ( $IH_{A5}$ ,  $IF_{A2}$ ,  $IS_{A1}$ ) tuvieron contenidos de alcohol, acidez total, ácido tartárico, polifenoles totales, proantocianidinas e intensidad colorante significativamente mayores a los del Suroeste ( $IH_{A4}$ ,  $IF_{A1}$ ,  $IS_{A1}$ ).

Los vinos del litoral norte tuvieron contenidos de extracto seco reducido significativamente mayor a los de las otras regiones.

Los vinos de la región suroeste tuvieron pH significativamente más alto que los del sur, lo cual puede influir de manera importante en las diferencias encontradas en el color y la composición fenólica de los vinos de esa región, ya que el estado de ionización de los antocianos y la velocidad de polimerización de los pigmentos están fuertemente condicionadas por el pH (Glories, 1984).

Los valores medios de ácido tartárico y acidez total de los vinos de la región suroeste fueron significativamente menores que los correspondientes a los vinos de

las otras regiones, en correspondencia con los valores de pH respectivos.

Los muestreos fueron representativos de los vinos elaborados en cada región, pero se verificó que la composición varietal fue proporcionalmente diferente, lo que influiría de manera importante en los resultados.

Las variedades mayoritarias fueron Tannat, Cabernet - Sauvignon y Merlot. Se constató que, entre los vinos de la región Sur, el 36% eran Tannat, 26% Cabernet - Sauvignon y 23% Merlot, siendo el resto vinos de corte entre estas variedades o elaborados con otros cepajes. Entre las muestras correspondientes a la región Suroeste, el 20 % eran vinos Tannat, el 32 % Cabernet - Sauvignon y el 12% Merlot. Entre las muestras del litoral norte el 50% fueron de Tannat y el 25% de Merlot.

Agrupando las muestras por variedad, independientemente de su origen geográfico, se obtuvieron diferencias estadísticas en los contenidos de acidez total, pH, extractos secos total y reducido, contenidos fenólicos y color (González Neves, 1998).

Los vinos de la variedad Tannat presentaron valores significativamente mayores de acidez total, polifenoles totales, antocianos, intensidad colorante y proporciones de azul que los vinos Cabernet - Sauvignon y Merlot. La tonalidad y la proporción de amarillo fueron significativamente inferiores en Tannat, indicando que estos vinos tenían tonos más rojos y más oscuros que los demás (Glories, 1984).

Los contenidos de taninos de alto peso molecular (polifenoles muy polimerizados) y de taninos globales (proantocianidinas) de los vinos Tannat no tuvieron diferencias significativas con los correspondientes a Cabernet - Sauvignon, en tanto las proporciones de rojo de Tannat fueron mayores, pero no se diferenciaron estadísticamente de las de Merlot.

Además de tener concentraciones diversas, la estructura de los pigmentos fue diferente en los vinos de cada variedad, de acuerdo con el índice de polimerización de los taninos. Los vinos de Cabernet - Sauvignon presentarían los pigmentos con mayor grado de condensación y polimerización, en tanto no se encontraron diferencias estadísticas entre Tannat y Merlot.

Los vinos de Merlot presentaron las menores valores de pH, polifenoles totales y de todas las familias fenólicas, con un color menos intenso y con menores tonalidades azules. Estos resultados dependen de las concentraciones de pigmentos y también del pH, ya que los equilibrios de los antocianos se desplazan hacia las formas coloreadas cuando el medio es ácido, determinando que aumente la componente roja del color (Glories, 1984).



Los contenidos medios de alcohol y de ácido tartárico no presentaron diferencias estadísticas por variedad, por lo que puede considerarse que estas variables serían las que mejor discriminarían los vinos analizados de acuerdo con su origen geográfico.

Considerando que las diferencias en la composición de los vinos varietales fueron muy importantes y que la proporción de cada variedad en las muestras analizadas de cada zona fue muy diferente, puede pensarse que los resultados obtenidos por región estarían bastante influidos por las variedades predominantes en cada caso.

Las diferencias de composición de las uvas y los vinos de las tres variedades citadas fueron confirmadas por sucesivos estudios realizados posteriormente (González Neves 1999; González Neves *et al.*, 2003).

## Conclusiones

La aplicación del método de Clasificación Climática Multicriterio (CCM) propuesta por Tonietto (1999) y Tonietto y Carbonneau (2004) ha permitido poner en evidencia la variabilidad espacial del clima de Uruguay. Se identificaron y caracterizaron seis tipos climáticos a la vez que fue posible delimitar seis regiones vitícolas en el país. Esta zonificación climática podrá ser la base metodológica para la delimitación de *terroirs* vitícolas. Se verifica que la mayor parte de la superficie de los viñedos uruguayos estarían afectados por la influencia de masas de agua, e implantados en dos tipos de clima vitícola: *templado, con noches templadas y sequía moderada* y *templado cálido, con noches cálidas y sequía moderada*. En general estas condiciones son favorables a la maduración y a la expresión de los componentes de la calidad.

## Bibliografía

- Bonnardot, V.** 2003. The sea breeze : a significant climatic factor for viticultural zoning in coastal wine growing areas. *IV Symp. Intr. Zoning vit.* 339-343.
- Buttrose, M. S.; Hale, C.R. and Kliewer, W. M.** 1971. Effect of temperature on the composition of Cabernet sauvignon berries. *Amer. J. Enol. Vitic.* 22:71-75.
- Calò, A.; Tomasi, D.; Crespan, M. and Costacurta, A.** 1996. Relationship between environmental factors and the dynamics of growth and composition of the grapevine. *Acta Hort. (ISHS).* 427:217-232.
- Camara, G.; Souza, R.; Freitas, U. and Garrido J.** 1996. Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics.* 20:(3) 395-403.
- Coombe, B. G.** 1992. Research on development and ripening of the grape berry. *Amer. J. Enol. Vitic.* 43 (1) 101-110.
- Deloire, A.; Carbonneau, A.; Ojeda, H.; Silva, P.; Kraeva, E.; Jacquet, O. and Andary, C.** 2001. Relations entre l'état hydrique de la vigne et les composés phénoliques de la baie de raisin des cépages *Syrah* et *Grenache noir*. Proposition de principes de gestion de la végétation. In C. R. GESCO Montpellier - France p. 253-258.
- Deloire, A.; Ferrer, M. and Carbonneau, A.** 2003. Respuestas de la viña al Terroir. Elementos para un método de estudio. *Agrociencia Vol.VII N°1*, 105-113.
- Enrich, N. and Ferrer, M.** 1992. Regionalización del cultivo de la vid en Uruguay. *Mimiografiado* 93 pp.
- Ferrer, M. e Garcia, L.** 1992. Studio sulla fisiologia delle gemme ibernanti di vite (*Vitis vinifera* L.): Determinazione delle fasi di crescita e sviluppo. *Atti IV Simposio Internazionale di fisiologia della vite* San Michele. Italia. p.19 - 22.
- Glories, Y.** 1984. La couleur des vins rouges. 2e. Partie: Mesure, origine et interpretation. *Conn. Vigne Vin.* 18 (4):253-271.
- González - Neves, G.** 1998. Caracterización analítica de vinos tintos producidos en las regiones Sur, Suroeste y Litoral Norte de Uruguay en las cosechas 1996 y 1997. *Panorama Vitivinícola.* 5 (4): 18-24.
- González - Neves, G.** 1999. Color y composición de vinos tintos jóvenes tannat, cabernet sauvignon y merlot de Uruguay. *Viticultura y Enología Profesional.* 64:43-50.
- González-Neves, G.; Ferrer, M.; Carbonneau, A. and Moutounet, A.** 2003. Adaptación de la vinificación en tinto en función del potencial polifenólico de las uvas. Experiencias realizadas en la vendimia 2001. *Agrociencia.* VII (1):59-67.
- Guidoni, S.; Schubert, A.; Maninni, F. and Allara, P.** 2002. Effects de facteurs qui influencent la teneur en sucre des baies sur la composition en anthocyanes des pellicules dans les fruits de *Vitis vinifera* L. In : [http://escsoc2.hcc.ru/DP\\_TOP3/dp184/dp184.htm](http://escsoc2.hcc.ru/DP_TOP3/dp184/dp184.htm) (10/8/2006).
- Huglin, P.** 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *C.R. Acad. Agric.* 1117-1126.
- Huglin P. and Schneider, C.** 1998. Biologie et écologie de la vigne. Paris, Lavoisier. 370 pp.
- Kliewer, W. M.; Torres, R. E.** 1972. Effect of controlled day and night temperatures on grape coloration. *Am. J. Enol. Vitic.* 23 (2) 71-77.
- Molfino J. H., Califra A.** 2004. Evaluación del drenaje natural de las tierras del Uruguay (Primera aproximación) Departamento Estudios Básicos de Suelos y Evaluación de Tierras DSA/RENARE/MGAP.
- Montes H.** 2006. Caracterización bioclimática de la región metropolitana de Chile para el cultivo de la vid. In *Actas Seminario Internacional «Metodología de zonificación de la vid en los países de Ibero-América.* Madrid – España.

- Myburgh, P.** 2005. Effect of altitude and distance from the Atlantic Ocean on mean February temperatures in the Western Cape Coastal region *Wyboer*.
- Ojeda, H.; Carrillo, N.; Deis, L.; Tisseyre, B.; Heywang, M.; Carbonneau, A.** 2005. Precision viticulture and water status II: quantitative and qualitative performance of different within field zones, defined from water potential mapping. . In *Comptes rendues GESCO*, Geisenheim - Allemagne Vol. 2:741-748.
- Riou, C. ; Pieri, P ; Le Clechz, B.** 1994 Consommation d'eau de la vigne en conditions hydriques non limitantes. Formulation simplifiées de la transpiration. *Vitis* 33 : 109-115.
- Spayd, S. E.; Tarara, J. M.; Mee, D.L.; Ferguson, J. C.** 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv Merlot berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 53 (3)171-182.
- Tomasi, D. ; Pitacco, A.; Pascarella, G.** 2003. Bunch and berry temperature and anthocyanin synthesis and profile in Cabernet Sauvignon. *Riv. Vitic.Enol.* 4:3-15.
- Tonietto, J.** 1999. Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mesoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscat d'Hamburg dans le sud de la France. Thèse de Doctorat ENSA Montpellier 233 pp.
- Tonietto, J.** 2006 Regiones climáticas vitícolas del sur de Brazil. In *Actas Seminario Internacional «Metodología de zonificación de la vid en los países de Ibero-América»*. Madrid -España
- Tonietto, J. ; Carbonneau, A.** 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide *Agric. Fort. Meto.* 124:81-97.
- Van Leeuwen, C.; Renard, R.; Leriche, O.; Molot, C. and Soyer, J. P.** 1998. Le fonctionnement de trois sols viticoles du Bordelais: conséquences sur la croissance de la vigne et sur le potentiel oenologique du raisin en 1997. *Revue Française d'Oenologie.* 170:28-32.
- Van Leeuwen, C.; Friant, P.; Jaeck, M. E.; Kuhn, S.; Lavialle, O.** 2004. Hierarchy of the role of climate, soil and cultivar in terroir effect can largely be explained by vine water status. *Joint International Conference on Viticultural Zoning* Cape Town - South Africa.433-439.
- Villiers, F. S.** 1997. The use a Geographic Information System (GIS) in the selection of wines cultivars for specific areas by using temperature climatic models. Office International de la vigne et du vin. In. C.R. *XXII Congrès de la vigne et du vin* Buenos Aires - Argentina.