



Universidad de la República de Uruguay

Facultad de Agronomía y Facultad de Ciencias

Programa de Desarrollo de Ciencias Básicas

Tesis para la Maestría en Geociencias

**GEOLOGÍA Y VINO: CARACTERIZACIÓN MEDIANTE ELEMENTOS TRAZA  
E ISOTOPOS ESTABLES DE POSIBLES TERROIRS UBICADOS SOBRE  
DIFERENTES UNIDADES GEOLÓGICAS DE URUGUAY.**

ING. AGR. CLAUDIA ANTONELLA CELIO CIOLI

TUTOR: DR. CLAUDIO GAUCHER

COTUTOR: DR. JORGE LUIS BOSSI SCORZA

Febrero 2016

Montevideo – Uruguay

Tutor: Dr. Claudio Gaucher

Cotutor: Dr. Jorge Luis Bossi Scorza

Tribunal:

Elena Peel \_\_\_\_\_

Leticia Chiglino \_\_\_\_\_

Milka Ferrer \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Calificación: \_\_\_\_\_

Autor: Ing. Agr. Claudia Antonella Celio Cioli

## **DEDICATORIA**

A todas las personas que me apoyaron siempre para que pudiera llegar a concretar esta meta.

## **AGRADECIMIENTOS**

\*Facultad de Agronomía

Al Grupo Disciplinario Geología: Carmen, Fernando, Raquel, Sebastián, y Olga quien me asistió en el trabajo de laboratorio. Señalando especialmente al cotutor Dr. Jorge Bossi de esta investigación, quien me sugirió el tema original luego de relevar diferentes áreas vitícolas de Uruguay.

Además fue fundamental la colaboración del Grupo Disciplinario de Vitivinicultura: Milka Ferrer, Gerardo Echeverría, Mercedes Fourment, Julia Salvarrey, Nicolás, Jéssica, Álvaro y Gustavo de la Facultad de Agronomía para llevar adelante este trabajo.

\* Programa de Desarrollo de Ciencias Básica Área Geociencias

Docentes, compañeros y a la Sra. Analía Fein.

\* Facultad de Ciencias

En especial al Dr. Claudio Gaucher, tutor de esta tesis por el constante apoyo y supervisión al igual que el cotutor Dr. Jorge Bossi. También quiero referirme a Guillermo García y Lucía Samaniego por su asesoría en el laboratorio.

\*Propietarios de los viñedos (Pisano, Pizzorno, Daghero, Viñedo Pagos de Atlántida y Viñedo Altos de la Ballena).



\*Laboratorio del “Department of Geosciences and Natural Resources Management” de la Universidad de Copenhague, bajo la supervisión del Prof. Robert Frei.

\* Laboratorio de Suelos del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca y al Laboratorio Actlabs- Canadá .

\* Comisión Académica de Posgrado, Universidad de la República por brindarme el apoyo con una beca para estudios de posgrado a docentes de la misma.

\* A la Dra. Virginia Gravina quien me orientó y apoyó en el análisis de los datos.

\* No quiero dejar de mencionar la significativa colaboración recibida por: Lic. Rosa Navarro, Ing. Jorge Chilaber, Ay. Sebastián Mármol y Pablo Haubman durante los cateos.

\* Por últimos no menos importantes a mi esposo, familia y amigos que siempre están presentes.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1.INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1.Objetivo general</b> .....	2
<b>1.2.Objetivos Específicos</b> .....	2
<b>2.ANTECEDENTES</b> .....	4
<b>2.1.Concepto de Terroir</b> .....	11
<b>2.2.Trazadores geoquímicos</b> .....	15
<b>2.3.Situación uruguaya</b> .....	29
<b>2.4. Antecedentes sobre la geología de los viñedos</b> .....	35
<b>2.4.1. Viñedos Canelones I y II</b> .....	36
<b>2.4.2. Viñedo Canelones III</b> .....	44
<b>2.4.3. Viñedo Maldonado</b> .....	47
<b>2.4.4. Viñedo Colonia</b> .....	50
<b>3.METODOLOGÍA</b> .....	52
<b>3.1.Selección de viñedos</b> .....	52
<b>3.2.Obtención de muestras</b> .....	53
<b>3.3.Estudio geológico</b> .....	55
<b>3.4.Geoquímica</b> .....	56
<b>3.5.Análisis de datos</b> .....	58

<b>4.RESULTADOS</b> .....	61
<b>4.1. Descripción y cartografía geológica</b> .....	61
<b>4.1.1. Viñedo Canelones I</b> .....	61
<b>4.1.2. Viñedo Canelones II</b> .....	67
<b>4.1.3. Viñedo Canelones III</b> .....	71
<b>4.1.4. Viñedo Colonia</b> .....	79
<b>4.1.5. Viñedo Maldonado</b> .....	82
<b>4.2. Geoquímica elemental</b> .....	98
<b>4.2.1. Elementos mayores, menores y traza</b> .....	98
<b>4.2.2. Normalización de las Tierras Raras con PAAS</b> .....	105
<b>4.2.3. Normalización de Tierras Raras con Condrita</b> .....	107
<b>4.2.4. Elementos incompatibles</b> .....	113
<b>4.2.5. Metales de transición</b> .....	116
<b>4.3. Geoquímica isotópica</b> .....	118
<b>4.3.1. Relación isotópica de <math>^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}</math></b> .....	118
<b>4.3.1. Relación isotópica de Pb en vino</b> .....	123
<b>4.4. Análisis estadístico</b> .....	131
<b>5. DISCUSIÓN</b> .....	136
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	142

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue caracterizar cinco viñedos para ver si existe una relación entre la composición del vino y la litología generadora de los suelos, utilizando los elementos traza e isotopos estables de los posibles Unidades Básicas de Territorio ubicadas sobre diferentes unidades geológicas de Uruguay. Existen numerosos antecedentes que utilizan exitosamente los elementos mencionados para separar diferentes zonas geográficas por el origen de los vinos.

Se trabajó con la variedad Tannat ya que posee una riqueza histórica, adaptación a las condiciones del país, elevada producción y potencial enológico para obtener vinos originales y típicos. Los sitios se encuentran en los departamentos de: Maldonado, Canelones y Colonia asociados a determinadas zonas climáticas identificadas a nivel nacional. Las muestras de roca, suelo y vino fueron analizadas para determinar la concentración de elementos traza, a través del método Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS). A su vez se analizaron las relaciones isotópicas de Sr y Pb.

Tres viñedos se encuentran sobre Formación Libertad y dos sobre Milonitas graníticas, en un caso sobre la Zona de Cizalla de Sierra Ballena y en el otro asociado a la Suite Granítica Mosquitos.

Se han encontrado claras diferencias entre los viñedos, y similitudes dentro de cada viñedo utilizando la relación isotópica de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .

La utilización de la composición de los elementos traza y la relación isotópica de Sr permiten identificar tres Unidades Básicas de Territorio (Maldonado, Canelones III y, los viñedos Canelones I, II y Colonia).

Las relaciones isotópicas de Pb permiten separar los vinos estudiados de vinos a nivel internacional.

**Palabras clave:** elementos traza, relación isotópica de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , Terroir, tierras raras, vino.

## TABLA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

### GRÁFICOS

Gráfico 1: Cantidad de viñedos por departamento. Año 2014.....	7
Gráfico 2: Evolución de las variedades finas de vino con mayor producción. Producción en kilogramos por variedad período 2005-2014.....	8
Gráfico 3: Variedades con mayor producción - Producción en porcentaje por variedad, con respecto al total de la producción nacional - año 2014.....	9
Gráfico 4: Exportaciones anuales de la cantidad de vino anualmente entre 1997 y 2011.....	10
Gráfico 5: Contenido de Sr y Rb (ppm) en las rocas de los cinco viñedos.....	103
Grafico 6: Contenido de Sr y Rb (ppm) en los vinos de los cinco viñedos.....	103
Grafico 7: Contenido en ppm de Rb en roca y vino para los cinco viñedos...	104
Grafico 8: Contenido en ppm de Sr en roca y vino para los cinco viñedos.....	104
Grafico 9: Normalización del contenido de tierras raras en vino con el estándar PAAS, según Nancet y Taylor (1976).....	105
Gráfico 10: Normalización del contenido de tierras raras en roca con el estándar PAAS .....	106
Gráfico 11: Normalización del contenido de tierras raras en roca con el estándar Condrita obtenido de Taylor y McLennan (1985).....	107
Grafico 12: Normalización del contenido de tierras raras en vino con el estándar Condrita obtenido de Taylor y McLennan (1985).....	108

Grafico 13:Relación La/ Lu en las cinco muestras de vino vs La/Lu <sub>N</sub> normalizado a Condrita (Wood, 1979).....	111
Grafico 14:Relación La/ Lu en las cinco muestras de roca vs La/Lu <sub>N</sub> a Condrita (Wood 1979 en Rollinson ,1993).....	112
Grafico 15: Normalización elementos incompatibles en roca de los cinco viñedos con datos de Condrita según el estándar de McDonough & Sun (1995).....	113
Grafico 16: Normalización elementos incompatibles en los vinos de los cinco viñedos con datos de Condrita McDonough & Sun (1995).....	114
Grafico 17:Normalización de los metales de transición en vino de los cinco viñedos con datos de Condrita (McDonough y Sun, 1995).....	116
Grafico 18: Normalización de los metales de transición en rocas de los cinco viñedos con datos de Condrita (McDonough y Sun, 1995).....	117
Grafico 19:Relación de <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr en vino, suelo y roca para los cinco viñedos con los datos disponibles.....	119
Grafico 20: Relación de <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr en vino, suelo y roca para los tres viñedos que tienen a la Formación Libertad como material parental.....	120
Grafico 21: Relaciones isotópicas de Pb para los cinco vinos.....	125
Gráfico 22:Relación <sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb para los cinco vinos.....	126
Gráfico 23:Relación <sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb para los cinco vinos.....	126
Gráfico 24: Relación <sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb para los cinco vinos .....	127

Gráfico 25: Relación $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ para los cinco vinos.....	127
Gráfico 26: Relación $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ para los cinco vinos.....	128
Gráfico 27: Relación $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ para los cinco viñedos, en color azul se presentan las muestras de este trabajo y el dato bibliográfico de Uruguay y en verde los datos de bibliográficos de los otros lugares.....	130
Gráfico 28: Diagrama donde se discrimina entre sitios según los elementos traza en vino y roca.....	131
Gráfico 29: Diagrama teniendo en cuenta la relación de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en vino y suelo de los cinco sitios estudiados..	132
Gráfico 30: Diagrama donde se discrimina entre sitios según todos los elementos traza analizados en roca .....	133
Gráfico 31: Diagrama donde se discrimina entre sitios según todos los elementos traza analizados en vino.....	134
Gráfico 32: Diagrama de conglomerados comparando la relación isotópica de Sr junto al contenido de bases y porcentajes texturales de los viñedos ubicados sobre Formación Libertad.....	135

## CUADROS

Cuadro 1: Evolución de la elaboración anual de vino 1992- 2012 (litros).....	5
Cuadro 2: Características de los elementos denominados tierras raras.....	19
Cuadro 3: Valores de Condrita utilizados como estándar.....	20



Cuadro 4: Valores utilizados para normalizar (en ppm) usados en el cálculo de los “diagramas araña” en el orden de ploteo.....	21
Cuadro 5: Bases (meq/100 gr de suelo) y análisis de granulometría Canelones I.....	66
Cuadro 6: Bases (meq/100 gr de suelo) y análisis de granulometría Canelones II.....	69
Cuadro 7: Bases (meq/100 gr de suelo) y análisis de granulometría Canelones III.....	76
Cuadro 8: Bases (meq/100 gr de suelo) y análisis de granulometría para el viñedo Colonia.....	81
Cuadro 9: Bases (meq/100gr de suelo) y análisis de granulometría Maldonado.....	97
Cuadro 10: Datos de los elementos analizados en muestras de roca y en muestras de vino Tannat (columnas sombreadas).....	98
Cuadro 11: Relación isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en roca, suelo y vino para los cinco viñedos estudiados. ....	118
Cuadro 12: Datos isotópicos del Sr y Nd en muestras de loess argentinos, resaltando en amarillo los datos similares a los encontrados en este estudio. Fuente: Kemp et al. (2003).....	122
Cuadro 13: Concentración de Pb en mg/L de los cinco viñedos.....	123
Cuadro 14: Resultados de la determinación de la concentración total de Pb en las muestras tomadas de bibliografía .....	123
Cuadro 15: Relaciones isotópicas de Pb en vino.....	124

Cuadro 16: Cuadro 16: Relaciones isotópicas de Pb en vino según datos de Barbaste et al. (2001) para diferentes países y datos de este estudio.....129

## FIGURAS

Figura 1: Distribución de los viñedos uruguayos.....	6
Figura 2: Tabla periódica mostrando los principales grupo de elementos traza de interés en este estudio. ....	16
Figura 3: Diagrama del radio iónico y la carga iónica con los elementos traza de interés para la geología.....	17
Figura 4: Coeficiente de partición de los elementos denominados tierras raras entre hornblenda en basalto, andesita, dacita y riolita.....	18
Figura 5: Evolución del isótopo Sr de agua de mar y flujos del océano (A) y sus implicaciones para la influencia relativa de meteorización continental sobre la composición del océano (B).....	26
Figura 6: Clasificación climática multicriterios - Índices adaptados: zonas climáticas vitícolas.....	30
Figura 7: Mapa de Unidades Básicas de Territorio caracterizadas por un bioclima, geología y aptitud de suelos para el cultivo de la vid.....	31
Figura 8: Mapa de Unidades Territorio Vitícola o <i>Terroirs</i> Vitícolas potenciales de los alrededores de Colonia del Sacramento.....	33
Figura 9: Imagen satelital con los cinco viñedos marcados mediante flechas blancas tomada de <i>Google Earth</i> .....	35

Figura 10: etalle de los antecedentes geológicos del viñedo Canelones I: ● y viñedo Canelones II: ● según Spoturno et al. (2005).....	43
Figura 11: Detalle de la geología del viñedo Canelones III ( ●) ubicado al este del Departamento de Canelones según Spoturno et al. (2005).....	46
Figura 12: Antecedentes geológicos del viñedo I Maldonado ( ●) localizado en el departamento de Maldonado según Spoturno et al. (2012).....	49
Figura 13: Fotointerpretación con identificación de unidades geológicas en la zona El Caño (Colonia) según Michelazzo y Califra (2006).....	51
Figura 14: Vista panorámica del viñedo donde se puede apreciar un conjunto de filas y entre filas de la variedad Tannat en un relieve de lomada suave.....	61
Figura 15: Acercamiento a la fila marcada para realizar el seguimiento del cuadro.....	62
Figura 16: Perfil de suelo y subsuelo del cuadro estudiado, a la izquierda se encuentra el taladro Holandés utilizado para extraer el material.....	63
Figura 17: Detalle del limo encontrado en el último tramo del perfil en el que se nota el carbonato pulverulento diseminado.....	65
Figura 18: Carta geológica del viñedo Canelones I.....	66
Figura 19: Viñedo de Canelones II mostrando las filas y entre filas de la variedad Tannat en un relieve de lomada suave.....	67
Figura 20: Cateo realizado en el viñedo Canelones II junto al taladro Holandés y dos niveles con abundante carbonato marcados con sarmientos secos.....	68

Figura 21: Carta geológica del viñedo Canelones II.....	70
Figura 22: Imagen general de la cantera ubicada dentro del predio que abarca el viñedo, donde se observa el material meteorizado y en la parte superior el suelo poco desarrollado que se genera a partir de éste material parental.....	71
Figura 23: Perfil que muestra el pasaje gradual del material madre al suelo, viendo fragmentos del material madre meteorizado dentro del perfil poco desarrollado.....	72
Figura 24: Fotomicrografía a Luz Polarizada Lineal (PPL) que muestra la abundancia de cuarzo (Q) y muscovita (MS).....	73
Figura 25: Fotomicrofotografía con Luz Polarizada Cruzada (CPL) que muestra la abundancia de cuarzo (Q) y muscovita (MS).....	73
Figura 26: Fotomicrografía a PPL (A) y con CPL (B) que permite observar la presencia de biotita (Bi), muscovita (MS) rutilo (R).....	74
Figura 27: Detalle de una intrusión pegmatítica en el granito deformado.....	75
Figura 28: Carta geológica del viñedo Canelones III con la ubicación de la cantera y las estructuras geológicas presentes en los alrededores del cuadro estudiado.....	77
Figura 29: Lugar de la perforación en el viñedo estudiado asociado a la entre fila, mostrando las dos filas implicadas en la parcela y el relieve es plano con una leve pendiente.....	79

Figura 30: Fotografía mostrando el material limoso en el taladro Holandés. Obsérvese el clasto de cuarzo (flecha).....	80
Figura 31: Carta geológica del viñedo Colonia.....	81
Figura 32: Imagen de la cantera ubicada frente a la bodega, apreciando claramente el bandeo característico de las rocas.....	82
Figura 33: Detalle de las bandas con rumbo N40E, verticales (estos datos fueron medidos en la banda que está junto a la piqueta).....	83
Figura 34: Figura 34: Fotomicrografía que muestran bandas mal definidas características de las milonitas (PPL y CPL).....	84
Figura 35: Fotomicrografías con PPL (A) y CPL (B) de milonitas, que muestran los feldespatos potásicos (reconociéndose claramente microclina en la Figura C) de mayor tamaño que el cuarzo que aparece en varios tamaños.....	86
Figura 36: Fotomicrografías con PPL (A y C) y CPL (B y D) donde se ven indicadores cinemáticos sigma en la microclina (MC), percibiéndose un movimiento sinistral.....	88
Figura 37: Acercamiento a un filón de cuarzo. ....	90
Figura 38: Afloramiento de la unidad geológica Milonitas Graníticas, ubicado al este del cuadro de estudio.....	91
Figura 39: Fotomicrografía del filón que se observa en la figura 38, en A se observa a PPL y en B con CPL.....	92

Figura 40: Fotomicrografía que muestra mirmequitas, CPL en milonitas graníticas.....	93
Figura 41: Fotomicrofotografía de riebeckita con típico color azul, CPL.....	94
Figura 42: Imagen de micropliegues en Milonitas.....	94
Figura 43: Vista desde la zona más alta ubicada al Este del viñedo, apreciándose la Sierra de los Caracoles, presentando una asociación geomorfológica entre ambos lugares.....	95
Figura 44: Carta geológica del viñedo ubicado en Maldonado.....	96
Figura 45: Estudio de proveniencia de loess mediante relación de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ..	121

## 1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación se orienta a profundizar en el conocimiento de la composición, características y calidad de los vinos en relación a la geología de los predios vitícolas.

Los principales problemas que se enfrentan son la falta de antecedentes en el tema en Uruguay, así como la falta de conocimiento de la geología a la escala que se necesita para delimitar claramente los distintos materiales geológicos dentro de los predios vitícolas.

Se estudiaron cinco viñedos ubicados en los departamentos de Maldonado, Canelones y Colonia tomándolos como posibles unidades territoriales de base dentro de potenciales *terroirs* de Uruguay. La Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV 2010) decidió adoptar el siguiente concepto: El *terroir* vitivinícola se refiere a un espacio sobre el cual se desarrolla un saber colectivo de las interacciones entre un medio físico y biológico identificable y las prácticas vitivinícolas aplicadas, que confieren unas características distintivas a los productos originarios de este espacio. El *terroir* incluye características específicas del suelo, la topografía, el clima, el paisaje y la biodiversidad entre otras.

## **1.1. Objetivo general**

Caracterizar los diferentes sitios para ver si existe una relación entre la composición del vino y la litología generadora de los suelos, utilizando los elementos traza e isotopos estables de los posibles *terroirs* ubicados sobre diferentes unidades geológicas de Uruguay.

El conocimiento obtenido podrá ser utilizado como instrumento de valorización y tipificación de los vinos uruguayos.

El tema es enfocado desde la geología, uno de los factores que se vincula al vino como producto final pero esta información básica puede tener incidencia económica porque mejora los datos de los vinos exportables.

## **1.2. Objetivos específicos**

1-Describir y cartografiar las rocas del subsuelo de los 5 viñedos, obteniendo como producto una carta geológica 1/7.000 del área de cada viñedos.

2-Analizar la composición elemental de vinos, suelos y rocas, con vistas a la identificación de elementos marcadores (tierras raras, Sr y otros).

3-Analizar la relación isotópica de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en vinos, suelos y rocas e isótopos de Pb en los vinos.



4-Explorar la posibilidad que diversos subsuelos otorguen características particulares al vino.

## 2. ANTECEDENTES

Según Ferrer (2007), la vid fue introducida en Uruguay en el siglo XVI por los primeros inmigrantes españoles y portugueses. Recién en el siglo XIX se refiere a un desarrollo comercial en la viticultura.

Las bodegas se ubican generalmente en un lugar cercano a los viñedos presentes en Uruguay, observándose una fuerte concentración de las mismas en los Departamentos de Canelones y Montevideo.

Las 27 bodegas con mayor capacidad (más de un millón de litros/año cada una), representan el 10% de las empresas y producen el 41% del vino uruguayo. El consumo interno del país se encuentra estabilizado en torno a los 100 millones de litros (Echeverría 2003), presentando un consumo de vino per cápita de 25 litros/ persona. año.

En el Cuadro 1 se puede observar que el número de bodegas ha disminuido notablemente en el período tomado. También se puede notar que la producción de vino se da en orden decreciente el vino tinto, rosado, blanco y clarete con algunos años en que varía el orden señalado.

Cuadro 1: Evolución de la elaboración anual de vino 1992- 2012 (litros)

<b>AÑO</b>	<b>TINTO</b>	<b>CLARETE</b>	<b>BLANCO</b>	<b>ROSADO</b>	<b>TOTAL</b>	<b>BODEGAS</b>
1992	33.044.825	9.194.753	13.518.255	24.646.141	80.403.974	404
1993	38.306.601	11.619.810	21.925.935	35.117.347	106.969.693	398
1994	24.529.783	7.635.491	15.744.192	22.982.680	70.892.146	367
1995	24.100.941	21.959.803	10.150.106	28.971.448	85.182.298	353
1996	26.798.988	11.890.154	22.741.909	33.962.548	95.393.599	340
1997	24.215.709	27.650.693	12.509.993	38.468.226	102.844.621	337
1998	18.831.450	10.963.103	27.782.770	29.535.351	87.112.674	320
1999	26.365.059	30.607.461	12.793.009	32.208.734	101.974.263	318
2000	27.577.507	9.205.886	30.122.701	23.505.890	90.411.984	313
2001	24.495.593	8.687.047	31.401.470	22.726.454	87.310.564	299
2002	25.322.652	15.282.948	5.246.881	23.669.881	69.522.362	269
2003	24.320.630	20.529.843	6.640.604	31.124.976	82.616.053	264
2004	39.408.060	23.234.547	9.381.329	38.686.121	110.710.057	274
2005	31.052.397	17.636.645	6.691.150	31.819.302	87.199.494	268
2006	34.932.738	17.383.013	6.964.202	32.535.758	91.815.711	276
2007	35.232.889	15.193.212	7.071.705	30.517.020	88.014.826	263
2008	33.791.601	9.995.423	10.576.629	25.222.929	79.586.582	264
2009	23.895.715	8.784.801	6.118.434	23.225.243	62.024.193	234
2010	25.381.871	12.214.556	8.245.754	31.040.177	76.882.358	235
2011	37.517.136	11.217.905	8.439.206	32.950.735	90.124.982	229
2012	39.070.240	10.990.181	13.095.088	35.209.452	98.364.961	241

Fuente: Instituto Nacional de Vitivinicultura (a).

La zona de producción tradicional del Uruguay según Baccino (2003) se ubica en la periferia de los centros poblados de mayor consumo, básicamente el sur del país (Figura 1 y Gráfico 1).

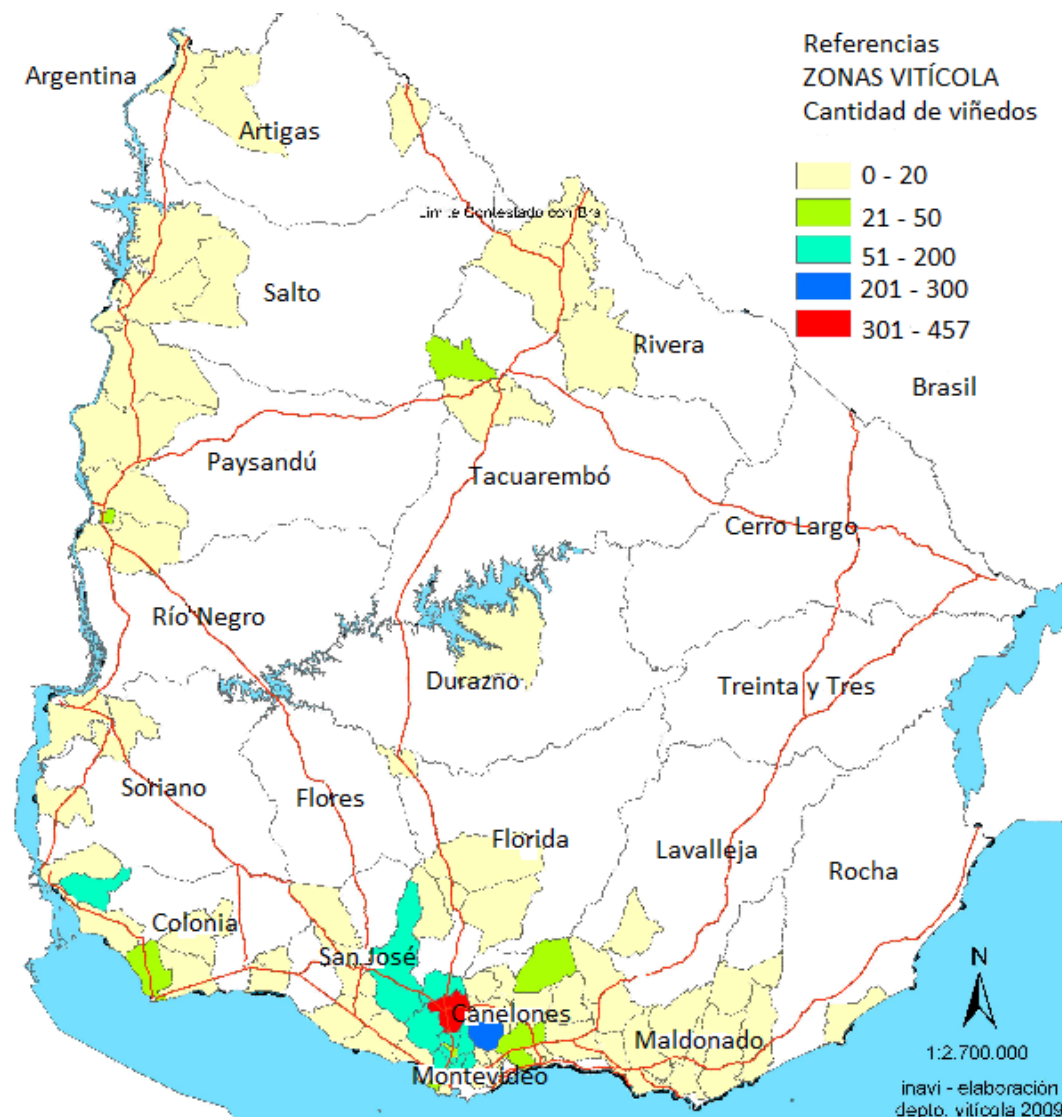


Figura 1: Distribución de los viñedos uruguayos según la cantidad y los departamentos.

Fuente: Silva & Camejo (2009)

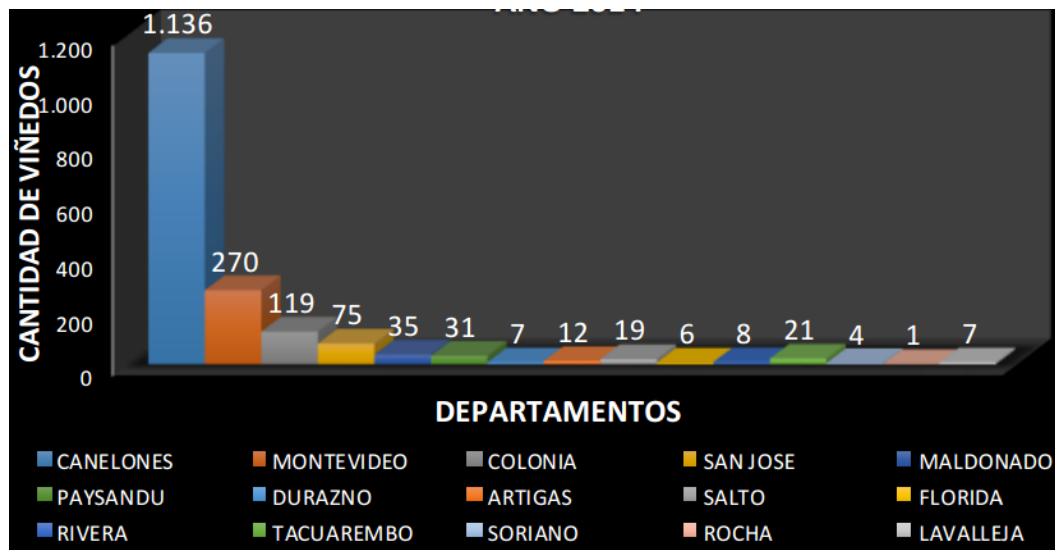


Gráfico 1: Cantidad de viñedos por departamento en el año 2014.

Fuente: INAVI, 2014

Los viñedos ubicados en el sur presentan problemas de drenaje, asfixia radicular y exceso de vigor. La búsqueda de vinos de mayor calidad, llevó a que en los últimos años se consideraran nuevas zonas de aptitud vitícola en el país (Baccino 2003).

Con respecto a las variedades que se producen, se puede ver en el gráfico 2 que la variedad fina con mayor producción del año 2005 al 2014 ha sido Tannat con una diferencia notable frente al resto a pesar de la variación entre años.

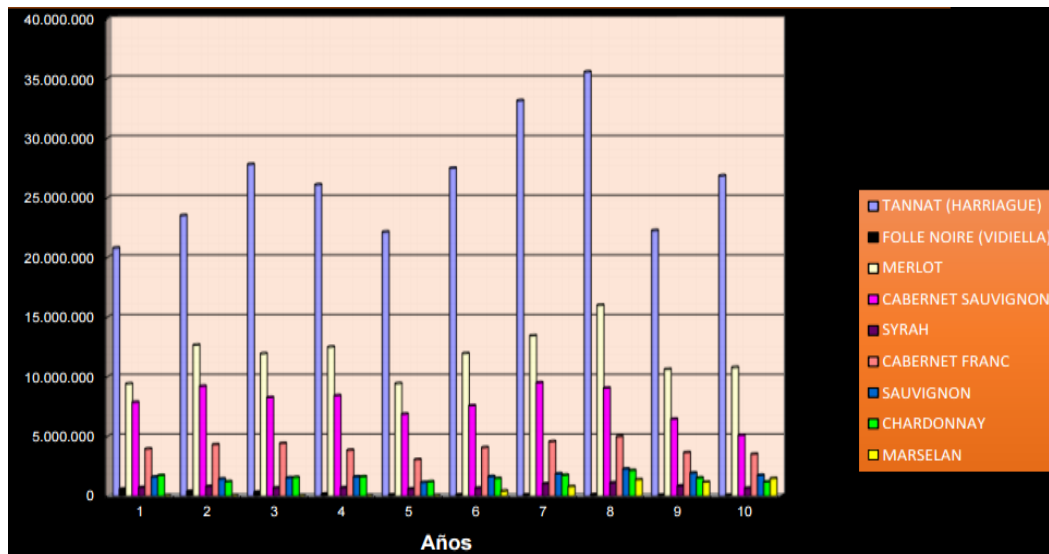


Gráfico 2: Evolución de las variedades finas de vino con mayor producción. Producción en kilogramos por variedad período 2005-2014.

Fuente: Datos del procesamiento de declaración jurada de cosecha efectiva 2014 y composición actualizada de viñedos- Programas “cosecha efectiva y registro de viñedos” (INAVI 2014).

Observando el Gráfico 3 más del 25% de la producción es de la variedad Tannat, representando el mayor porcentaje entre todas las variedades y entre los tintos.

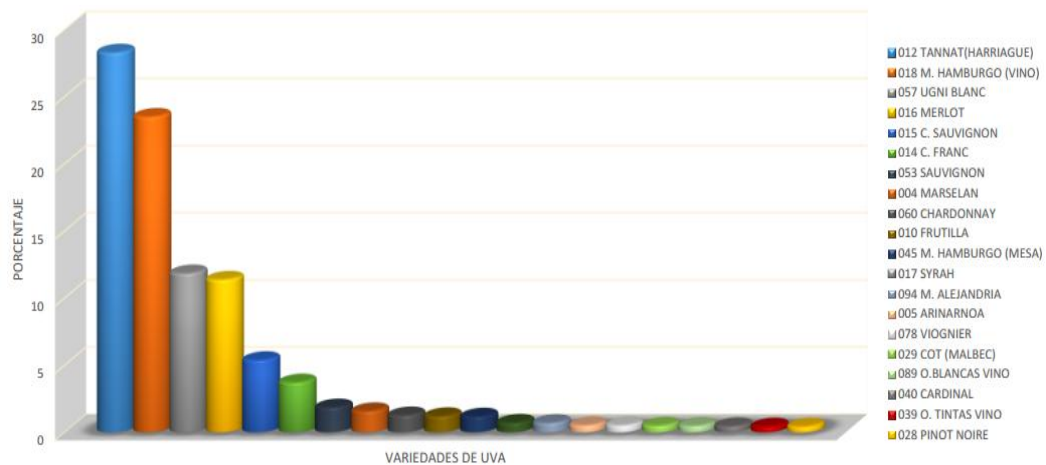


Gráfico 3: Variedades con mayor producción - Producción en porcentaje por variedad, con respecto al total de la producción nacional - año 2014.

Fuente: Datos del procesamiento de declaración jurada de cosecha efectiva 2014 y composición actualizada de viñedos- Programas “cosecha efectiva y registro de viñedos” (INAVI 2014).

Tomando en cuenta el Gráfico 4 se ve que las exportaciones aumentaron hasta el año 2000 aproximadamente. Luego se presentan años con mayor exportación (2006 - 2008) y posteriormente tienden a estabilizarse por algunos años, mostrando valores cercanos al máximo dado en el año 2000.

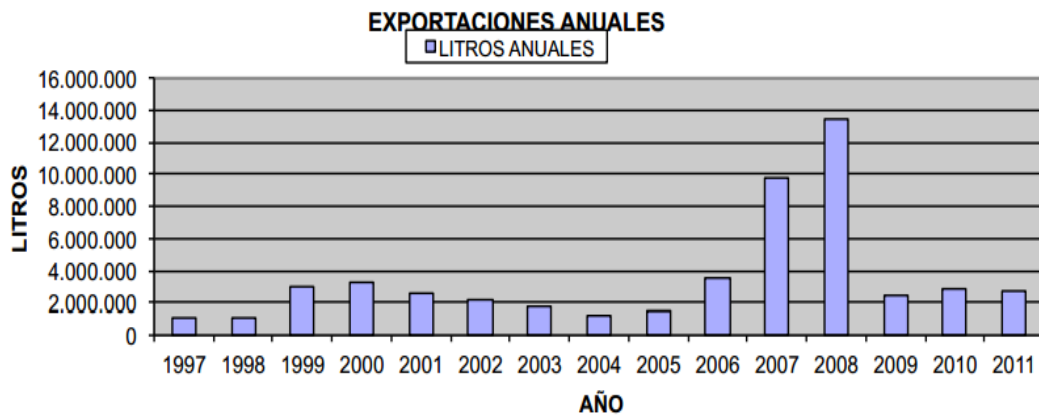


Gráfico 4: Exportaciones anuales de la cantidad de vino anualmente entre 1997 y 2011.

Fuente: Instituto Nacional de vitivinicultura (b).

En 1870 Lorda y Harriague introducen el Tannat según Boido (2012). Esta variedad ocupa la mayor parte (23%) de la superficie total con viñedos en Uruguay (Instituto Nacional de Vitivinicultura).

Según Echeverría (2003), la percepción por parte de los industriales es que faltan estudios que orienten a los bodegueros a elaborar un “vino objetivo”, ya que el Tannat que hoy se produce es muy genérico. El aumento de las exportaciones está relacionado con la mejora de la imagen de país vitivinícola, que fundamentalmente está centrada en el Tannat, variedad considerada como “locomotora”, de forma análoga al Syrah en Australia, al Malbec en Argentina e inclusive a Chile con el Cabernet Sauvignon; remarcando la importancia de Tannat ya que según Calvo (2008), Tannat es la propia historia del vino en Uruguay. Le permite



tener un vino de gran cuerpo y estructura tánica, de intenso color y fineza aromática.

La variedad Tannat está muy bien adaptada a las condiciones de producción de Uruguay, se caracteriza por tener un potencial enológico muy interesante para la elaboración de vinos tintos de gran originalidad y tipicidad, debido a su contenido de antocianos, taninos, azúcares y a la acidez de sus uvas (González-Neves et. al 2006 citado por Ferrer et al. 2011).

## **2.1. Concepto de *Terroir***

El concepto surge en Francia, según Laville (1993) un territorio natural se define a partir de número reducido de criterios elementales como: clima, subsuelo y suelo, y no por un número grande de posibles criterios de funcionamiento. Además este territorio posee un potencial agronómico que ha sido revelado por las características de sus producciones.

Según Haynes (1999) la esencia misma del concepto de *terroir* se fundamenta en que la calidad de un vino es producto de la conjugación de todos los factores por encima y debajo del suelo. Dentro de estos factores están incluidos: meteorológicos (temperatura máxima, mínima, condiciones de viento, etc.), fisiográficos (forma del relieve, elevación, pendiente, entre otros), pedológicos (composición, porosidad, mineralogía

y química del suelo entre otros), geológicos (geología del subsuelo y geoquímica, petrología y textura de cada estrato individual, hidrogeología) y vitícolas.

Wilson (1998) señaló que la geología del viñedo tiene un papel importante como precursor del suelo y ambos controlan el drenaje y el microclima. La geología no abarca solamente el estudio de las rocas del área sino que define las características físicas y químicas de los suelos, procedentes de dicho material, definiendo indirectamente el contenido de agua disponible. Se encuentra asociada asimismo al origen del relieve actual y a los cambios que sufre el mismo.

Sin embargo Morlat et al. (2001) señala que para los productores el concepto de terreno permite la valorización con interés económico frente a la globalización, y define una Unidad Territorial de Base como puntal de una metodología necesaria para la investigación.

Morlat (1996) propone varias claves para conocer las Unidades Territoriales de Base de un viñedo. La primera hace intervenir la composición geológica del terreno (estratigrafía y naturaleza de la roca), la segunda trata al suelo y su variabilidad definiendo tres tipos de medios basados en la meteorización de las rocas. Además existen otros factores como altitud, relieve entre otros. Para identificar cada medio se utiliza el espesor del perfil y el grado de meteorización (esto se traduce en un tenor de arcilla que aumenta a medida que existe mayor meteorización). A los

limos eólicos no se los puede considerar en esta graduación de la meteorización pero el espesor del suelo y el contenido de arcilla permiten valorizar a estos terrenos a través de las mismas. En tanto Morlat et al. (2001) manifiesta que el efecto de la composición química del terreno: elementos mayores y oligoelementos no se han podido poner en evidencia dentro de su trabajo, pero sería útil colocarlos en un protocolo que permitiera separar el efecto de los factores químicos de los físicos.

A los tradicionales desequilibrios entre oferta y demanda que afectan a la producción de vino, el sector se desarrolla en un entorno crecientemente competitivo provocado por la irrupción de nuevos países productores (Estados Unidos, Sudáfrica y Australia) con estrategias innovadoras en producción y comercio que están ocupando lugares en el mercado mundial (Bardaji Azcarat 2004).

La estrategia de valorizar los vinos haciendo referencia a las características que confiere el sitio de producción se utiliza hace muchos años, pero cada día es más apreciada por los consumidores. El sistema de Apelación de Origen Controlada (A.O.C.), basado en los factores naturales y humanos del *terroir*, ha permitido a los vinos franceses tener una notoriedad internacional reconocida (Baccino 2003).

Cada vino con denominación de origen procede de un decreto que define su área de producción, las cepas autorizadas, las técnicas culturales a respetar, etc. El control de la producción en cada

denominación se realiza por un consejo regulador que aporta un sello específico y obligatorio en cada botella (Rouzet & Seguin 2004).

Existen varios decretos vinculados a INAVI que hacen referencia a indicación y la denominación geográfica de origen de los vinos de calidad preferente (INAVI 1993), y en el reglamento vitivinícola del Mercado Común del Sur (MERCOSUR) en INAVI (1997) se instauran ciertos puntos importantes donde los organismos competentes de cada país del MERCOSUR podrán establecer Indicaciones Geográficas Reconocidas o Denominaciones de Origen Reconocidas, atendiendo a los conceptos definidos en el Reglamento Vitivinícola del MERCOSUR.

Además define dos conceptos fundamentales como:

**\*Denominación de Origen Reconocida**, es el nombre del país, de la región o del lugar utilizado para designar un producto originario de este país, esta región, este lugar o del área definida para este fin, bajo ese nombre, y reconocido por las autoridades competentes del respectivo país. En lo que se refiere a los vinos o destilados de origen vitivinícola, la Denominación de Origen Reconocida designa un producto cuya calidad o características son debidas exclusivamente o esencialmente al medio geográfico, comprendiendo los factores naturales y humanos, éste está subordinado a la cosecha de uva ya sea como transformación en el país, la región, el lugar o área definida.

\* **Indicación Geográfica Reconocida**, es el nombre de un país, una región o un lugar utilizado para designar un producto originario de ese país, región, lugar u área definida para ese fin bajo este nombre, y reconocido por las autoridades competentes del respectivo país. En lo que se refiere a los vinos, el reconocimiento de este nombre está ligado a una calidad y/o una característica del producto, atribuida al medio geográfico, comprendiendo los factores naturales o los factores humanos y está subordinado a la cosecha de uva en el país, la región, el lugar o el área definida.

En este entorno es que el sector vitivinícola está desarrollando la delimitación de distintos *terroirs* a nivel nacional.

Inhan et al. (2013) señala que el modelo vitivinícola del *terroir* es una estructura soportada por un elevado número de viticultores, pequeñas y medianas empresas vinícolas y elevada regulación a lo largo de toda la cadena productiva en que, claramente, emerge la cuestión de la tradición versus la innovación aunque señala también que asegura los valores de calidad, y hace referencia a que existe una transferencia del valor agregado del vino al valor del vínculo de la familia con el proceso productivo.

## **2.2. Trazadores geoquímicos**

Larcher et al. (2006) destaca que la disponibilidad de bases de datos recogidas adecuadamente del contenido de elementos traza en el vino, y el procesamiento estadístico apropiado es una herramienta útil

para la caracterización de la producción de vino con origen geográfico definido y su potencial protección. Lo anterior es corroborado por numerosos reportes que utilizan la relación isotópica de varios elementos, y/o la concentración de un conjunto de elementos traza para separar diferentes zonas geográficas por el origen de los vinos como: Perez - Trujillo et al. (2002); Taylor et al. (2002); Almeida & Vasconcelos (2003b); Kelly et al. (2005); Schlesier et al. (2009); Smeyers - Verbeke et al. (2009); Oстера et al., (2010), Saurina (2010), Petrini et al. (2015) entre otros.

Es imprescindible señalar que los elementos traza son elementos que están presentes en una roca en concentraciones menores a 0.1% (1000ppm) según Rollinson (1993).

Varios grupos son de interés geoquímico (Figura 2); los más usados son los lantánidos o tierras raras y los metales de transición.

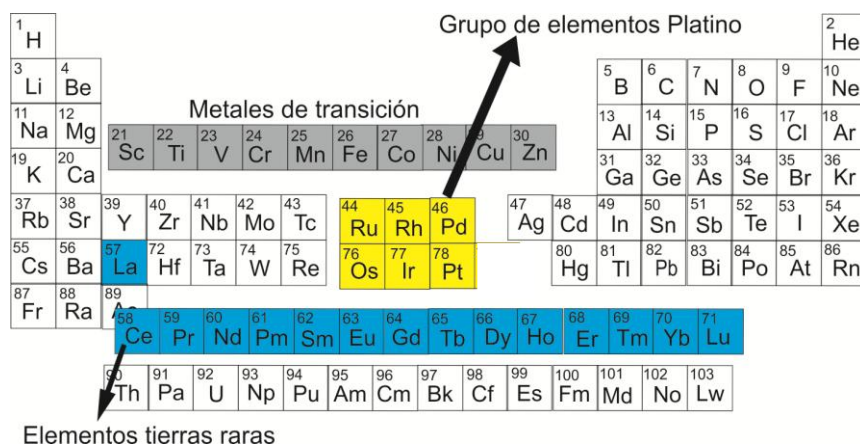


Figura 2: Tabla periódica mostrando los principales grupos de elementos traza de interés en este estudio. Fuente: modificado de Rollinson (1993).

Cuando el manto terrestre es fundido, los elementos traza pueden mostrar preferencia ya sea por la fase líquida o sólida (mineral), por lo tanto son llamados elementos incompatibles y compatibles respectivamente (Figura 3 y 4). Los lantánidos junto con Y (Cuadro 2), y Sc, Th, U, Zr, Hf, Ti, Nb y Ta son cationes pequeños y con mucha carga. Por otro lado están los cationes grandes de pequeña carga, más conocidos como LILE (Large Ion Lithophile Element) que incluyen a Cs, Rb, K (elemento mayor) y Ba. A estos hay que agregarle Sr, al lantánido Eu divalente y Pb divalente (radio iónico y carga casi idénticos) (Rollinson 1993).

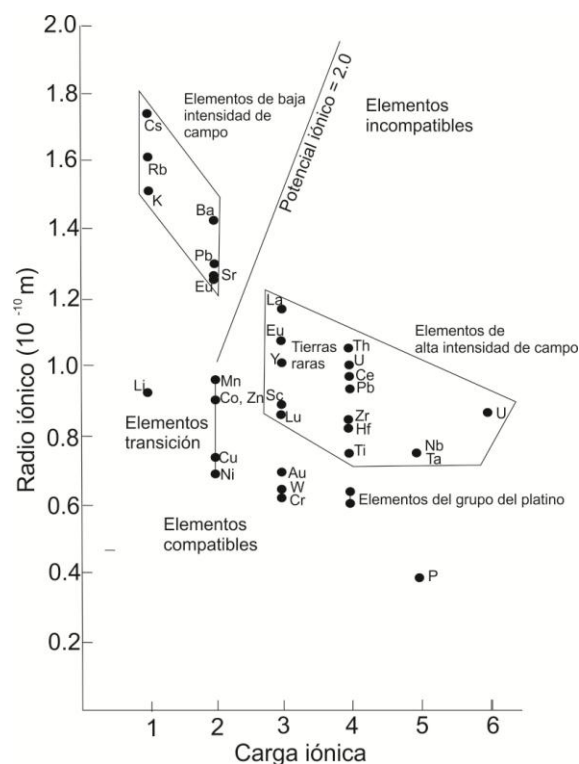


Figura 3: Diagrama del radio iónico y la carga iónica con los elementos traza de interés para geología. Fuente: Rollinson (1993)

Muchos textos de geoquímica contienen recopilaciones de coeficiente de reparto mineral / magma para su uso en modelado de elementos traza, pero se tiene que tener cuidado ya que existen estudios experimentales según Rollinson (1993) donde se aprecia que el coeficiente puede variar por la temperatura, presión, composición y actividad del oxígeno en la fusión.

El coeficiente de partición es la razón de la distribución de una sustancia entre dos fases cuando un sistema está en equilibrio.

La composición del magma es el factor más importante que controla el coeficientes de partición entre mineral / magma. Hay un claro incremento en el coeficiente de partición con el aumento del contenido de sílice en la fusión, que asciende a un orden de magnitud diferente entre fusión basáltica y riolítica. Esto se puede observar en la Figura 4.

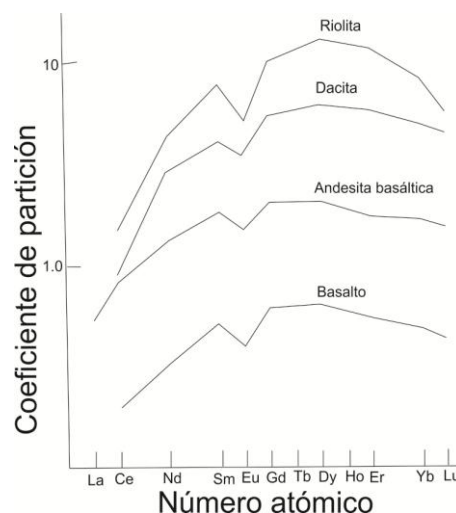


Figura 4: Coeficiente de partición de los elementos denominados tierras raras entre hornblenda en basalto, andesita, dacita y riolita (Rollinson 1993)



Cuadro 2: Características de los elementos denominados tierras raras.

Número atómico	Nombre	Símbolo	Radio iónico para ocho de coordinación (Shannon, 1976- Angstroms)
57	Lantano	La	La <sup>3+</sup> 1,160
58	Cerio	Ce	Ce <sup>3+</sup> 1,143 Ce <sup>4+</sup> 0,970
59	Praseodimio	Pr	Pr <sup>3+</sup> 1,126
60	Neodimio	Nd	Nd <sup>3+</sup> 1,109
61	Prometio	Pm	No ocurre naturalmente
62	Samario	Sm	Sm <sup>3+</sup> 1,079
63	Europio	Eu	Eu <sup>3+</sup> 1,066 Eu <sup>2+</sup> 1,250
64	Gadolinio	Gd	Gd <sup>3+</sup> 1,053
65	Terbio	Tb	Tb <sup>3+</sup> 1,040
66	Disproσιο	Dy	Dy <sup>3+</sup> 1,027
67	Holmio	Ho	Ho <sup>3+</sup> 1,015
68	Erbio	Er	Er <sup>3+</sup> 1,004
69	Tulio	Tm	Tm <sup>3+</sup> 0,994
70	Iterbio	Yb	Yb <sup>3+</sup> 0,985
71	Lutecio	Lu	Lu <sup>3+</sup> 0,977
39	Itrio	Y	Y <sup>3+</sup> 1,019

Fuente: Rollinson (1993)

Los mecanismos por los cuales los elementos traza están presentes en los minerales son tres: adsorción, oclusión y solución sólida (sustitución isomórfica). La sustitución se considera el más importante porque puede ser descrito recurriendo a las propiedades termodinámicas del sistema.

Las concentraciones de tierras raras se normalizan a una referencia estándar. La que se utiliza comúnmente corresponden a las Condritas (Rollinson 1993) considerando dicho material como las muestras menos evolucionadas que derivan de la nebulosa solar primordial y se aproximan así, a la composición temprana de la Tierra.

Cuadro 3: Valores de Condrita utilizados como estándar.

<b>ppm</b>	<b>T&amp;M 1985</b>
<b>La</b>	0.367
<b>Ce</b>	0.957
<b>Pr</b>	0.137
<b>Nd</b>	0.711
<b>Sm</b>	0.231
<b>Eu</b>	0.087
<b>Gd</b>	0.306
<b>Tb</b>	0.058
<b>Dy</b>	0.381
<b>Ho</b>	0.0851
<b>Er</b>	0.249
<b>Tm</b>	0.0356
<b>Yb</b>	0.248
<b>Lu</b>	0.0381

Fuente: Taylor y McLennan (1985)

También en el caso de rocas sedimentarias y procesos de superficie se utilizan otras referencias como el estándar Post Archean Australian Shale (PAAS) para normalizar los análisis (Nance & Taylor, 1976; Cuadro 4).

Cuadro 4: Valores utilizados para normalizar (en ppm) usados en el cálculo de los “diagramas araña” en el orden de ploteo.

<b>Promedio de abundancia de tierras raras en rocas sedimentarias Post Arqueanas Australianas</b>	
<b>La</b>	38
<b>Ce</b>	80
<b>Pr</b>	8,9
<b>Nd</b>	32
<b>Sm</b>	5,6
<b>Eu</b>	1,1
<b>Gd</b>	4,7
<b>Tb</b>	0,77
<b>Dy</b>	4,4
<b>Ho</b>	1
<b>Er</b>	2,9
<b>Tm</b>	0,5
<b>Yb</b>	2,8
<b>Lu</b>	0,5
<b>Y</b>	28

Fuente: Nance & Taylor (1976)

Los elementos son utilizados en modelos como los antes mencionados y también para muchas investigaciones que han tenido éxito en identificar el origen del vino mediante la determinación de elementos como: K, Na, Fe, Zn, Rb, Ca, Mg, Mn, Cu, Cr, Co, Sb, Cs, Br, Al, Ba, Li y Ag en vino, mencionados en el trabajo de Minnaar (2009).

Los resultados hallados por Almeida & Vasconcelos (2003b) son compatibles con otros trabajos realizados en Canadá donde se reporta la discriminación de vinos de dos regiones del mismo país mediante la composición de varios elementos, concluyendo que la composición está fuertemente influenciada por la química del suelo. Greenough et al. (2005) plantea que el *terroir* está vinculado con diferencias en el clima y suelo, permitiendo cuantificar los elementos traza y presentarlos como huellas digitales para los vinos canadienses discriminados por región.

También en un trabajo realizado por Bentlin et al. (2011) donde se analizan elementos mayores, menores y traza en vinos tintos de Argentina, Brasil, Chile y Uruguay, se pudo discriminar por país de origen independiente del tipo de uva. En este caso los elementos discriminantes fueron Tl, U, Li, Rb y Mg.

Considerando algunos factores que influyen en el resultado, según Amorós et al. (2012) el coeficiente biológico de absorción fue muy similar en hojas y bayas para todos los elementos estudiados. Dicho nivel de bioacumulación o capacidad de una planta para la absorción de nutrientes, se calcula como la relación entre la concentración de cualquier

elemento estudiado en la hoja, peciolo o baya de la vid y la concentración encontrada en el correspondiente suelo. Fueron encontrados contenidos altos en Ca, Sr, Ni y en tierras raras (La, Ce y Nd), contenidos bajos en Al, Zr, Ba, Cu, Zn y Pb, y contenidos normales en el resto de los elementos. El coeficiente biológico de absorción es más bajo en bayas para la mayoría de los elementos estudiados pero es interesante subrayar los contenidos de Cs, K, Nb, Ce, Zn y Sr en los resultados de los vinos como una huella digital del suelo.

El comportamiento del Sr es similar al del Ca en muchos procesos geológicos y biológicos, tiene la misma valencia y similar radio iónico (Sr: 1,18 Å y Ca: 1,00 Å), y puede ser utilizado como un sustituto de los cationes básicos lábiles en la búsqueda del origen y flujos de nutrientes del suelo en el sistema suelo-planta. (Capo et al. 1998; Petrini et al. 2015). La proporción de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en tejidos de plantas puede ser directamente relacionado con los cationes tomados del suelo, ya que se supone que el fraccionamiento durante el proceso es muy pequeño (Petrini et al. 2015).

Sr sustituye al Ca en minerales como plagioclasas, apatito, sulfatos y carbonatos (calcita, dolomita y especialmente aragonito). En algunos minerales Sr<sup>2+</sup> puede también sustituir al K<sup>+</sup> cuando Si<sup>4+</sup> es reemplazado por Al<sup>3+</sup> (ej., vermiculita, esmectita). El Sr tiene 4 isótopos que ocurren naturalmente, con las siguientes abundancias aproximadas:  $^{84}\text{Sr}$ - 0,56%;  $^{86}\text{Sr}$ - 9,87%;  $^{87}\text{Sr}$ - 7,04% y  $^{88}\text{Sr}$ - 82,53%. Los cuatro isótopos son

estables, aunque la fracción de  $^{87}\text{Sr}$  varía debido a la desintegración radiactiva de  $^{87}\text{Rb}$  (Capo et al. 1998), isótopo padre del  $^{87}\text{Sr}$ .

Los dos isótopos del rubidio natural son  $^{85}\text{Rb}$  y  $^{87}\text{Rb}$ , presentan una abundancia de 72,8 y 27,2 % respectivamente. El  $^{87}\text{Rb}$  pasa a  $^{87}\text{Sr}$ , con una vida media de 47.000 ó 50.000 Ma. La relación de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  varía significativamente en diferentes tipos de roca, dependiendo de la historia de precristalización de la roca, y particularmente de la edad y la relación Rb/Sr de su roca/área fuente. Para la mayoría de las rocas ígneas derivadas de focos profundos de la corteza inferior o manto superior la relación ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) varía desde un valor mínimo de 0,700 hasta cerca de 0,715; para las rocas metamórficas con larga historia de precristalización en las zonas de la corteza y con relaciones de Rb/Sr relativamente altas las relaciones de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  puede ser mucho mayores (Gass et al. 2002).

La meteorización de la roca madre o sedimentos es la fuente más significativa de Sr en el suelo. Los materiales parentales de los suelos a menudo tienen distintas firmas isotópicas de Sr. Las rocas graníticas precámbricas y arenas aluviales derivadas de rocas félsicas generalmente tienen valores altos de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ( $\geq 0,71$ ). Ésta relación refleja su alta relación Rb/Sr y la edad de la corteza continental de la que derivan esas rocas y sedimentos.

La corteza superior expuesta a la meteorización tiene un promedio de concentración de Sr de ~340 ppm y una relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de 0,716. El

Sr derivado de la meteorización de limos y carbonatos Fanerozoicos tienen una relativamente relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  baja (~0,707 a 0,709).

Los basaltos oceánicos jóvenes y los sedimentos derivados de ellos generalmente tienen aún más bajos los valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (típicamente 0,702 a 0,705; ej. Shields 2007). Los basaltos continentales tienen relaciones de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  variables que dependen de la edad y el alcance de su interacción con la corteza continental previa a la erupción (Capo et al. 1998).

Como señala White (2000) el Rb es un elemento altamente soluble e incompatible. Sr también es relativamente soluble y es bastante incompatible en rocas máficas y, en particular ultramáficas. Sin embargo, es relativamente compatible en sistemas ígneos ricos en sílice (participa preferentemente en la plagioclasa). Como resultado se obtiene una relación  $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$  relativamente uniforme y baja en el manto, y en la corteza continental es mucho más variable, aunque en promedio la relación es superior (Figura 5).

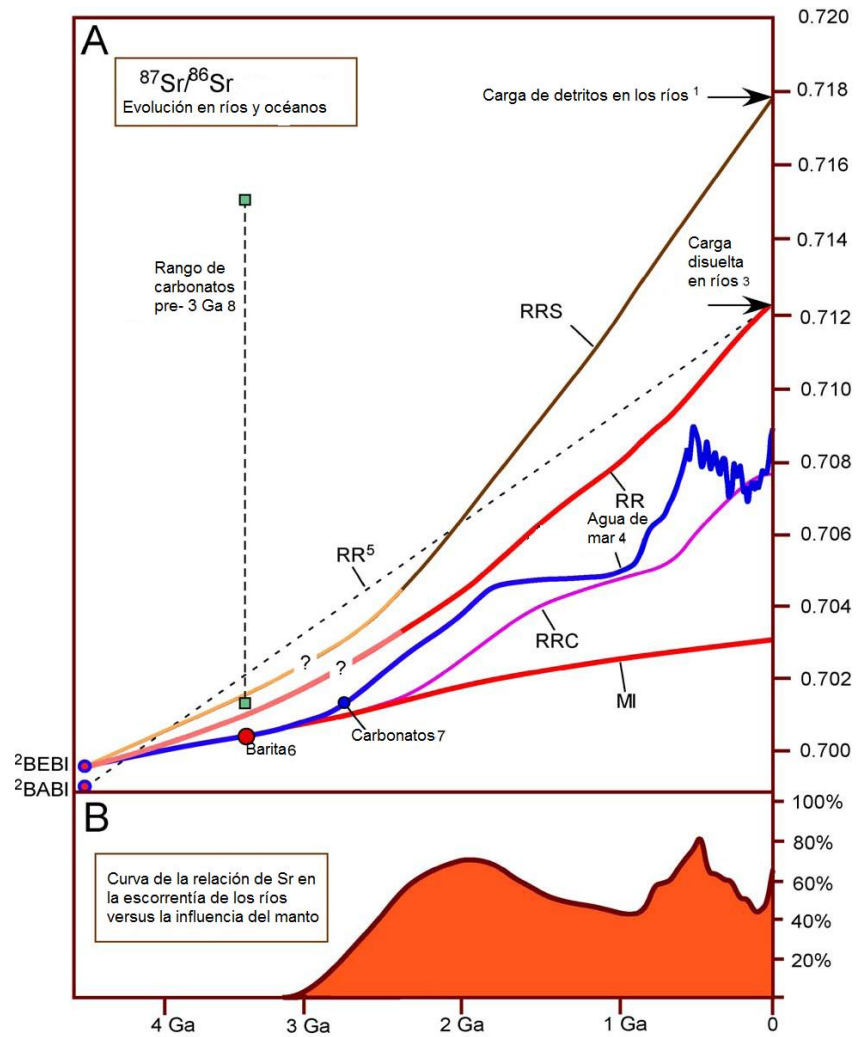


Figura 5: Evolución del isótopo Sr en agua de mar y flujos del océano (A) y sus implicaciones para la influencia relativa de meteorización continental sobre la composición del océano (B). Dentro de la relación de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en agua de mar: la curva de escorrentía (RR) de los ríos se ha determinado suponiendo un moderno de la relación entre la entrada de Sr de meteorización marina de carbonato (CRR) y la meteorización de silicatos (RRS), respectivamente. La curva CRR presupone que las rocas carbonatadas sometidas a la intemperie preservan la composición isotópica del agua de mar de la que precipitaron y tienen una distribución de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  sesgada a la edad, con una edad media de 250 Ma (3). La curva de RRS se basa una representación idealista sobre la evolución de la corteza predicho por algunos autores, aunque otros autores asumen mucho antes la diferenciación de la corteza con una evolución isotópica mínima de Rb/Sr (5). La alteración de la corteza oceánica proporciona menos Sr radiogénico a los océanos (MI). La curva en (B) supone que la  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en el agua de mar resulta de la simple mezcla binaria entre RR y MI, y muestra que la influencia de la intemperie continental era menos antes de 2,5 Ga, e insignificante antes de 3,0 Ga. Las fuentes de literatura son varias citadas por Shields (2007).



Según Almeida & Vasconcelos (2003a) el Sr presenta un aumento en su concentración máxima durante los procesos de vinificación. El aumento de la concentración del elemento se atribuyó a la liberación de este por parte de las semillas y la piel de la baya (ricos en estroncio comparándolos con la pulpa) durante el prensado mecánico inicial y la fermentación. Sin embargo los valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  fueron según Almeida & Vasconcelos (2003a) estadísticamente idénticos en el suelo de procedencia, respectivo al jugo de uva y el vino, lo que indica que  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  es un trazador adecuado del origen de los vinos estudiados. Esto es concordante con el resultado de Petrini et al. (2015) que observa correspondencia estadísticamente significativa entre la fracción lábil del suelo y el mosto.

No siempre se encuentran valores significativamente diferentes en todos los vinos con distinta proveniencia como lo señalan Ostera et al. (2010). Los citados autores pudieron diferenciar claramente tres de las cinco zonas muestreadas, que incluían a dos importantes zonas de producción como son Mendoza y San Juan.

La mayor parte del contenido total de metales en el vino es de origen natural y reflejo de la geoquímica del suelo sobre el que se cultivan las vides. Las concentraciones de éstos son características e influenciadas por la madurez de la uva, la variedad, el tipo de suelo en el viñedo, y las condiciones climáticas durante su crecimiento. La contribución de los metales de un origen secundario se asocia con la

contaminación externa de la vid durante el crecimiento o durante las diferentes etapas de la vinificación (desde la cosecha hasta el embotellado y de guarda, Almeida & Vasconcelos 2003a).

Durante el crecimiento de las uvas en un viñedo, las contaminaciones pueden clasificarse como geogénica (originario del suelo), procedentes de la fertilización y prácticas de protección de plantas, o de la contaminación del medio ambiente (antropogénica). La aplicación de pesticidas, fungicidas y fertilizantes que contienen As, Cd, Cu, Mn, Pb y Zn son otra fuente de contaminación antropogénica, que conducen a un aumento en las cantidades de estos elementos en el suelo, la uva y el vino.

Por último, hay una fuente enológica (elaboración del vino) de los metales, ya que la contaminación puede ocurrir en diferentes etapas de la producción de vino. La razón de esto es el tiempo de contacto del vino con los materiales que componen la maquinaria de vinificación, (tubos, toneles y barriles) utilizados para el manejo y almacenamiento. Entre ellos se encuentran: aluminio, latón, vidrio, acero inoxidable y madera. Los mismos son la fuente habitual de Al, Cd, Cr, Cu, Fe y Zn. (Fiket et al. 2011).

Según Fiket et al. (2011), la determinación del contenido de metales en el vino es de suma importancia no sólo para la industria del vino en relación con problemas de calidad, sino también debido a sus aspectos relacionados con la salud.

### **2.3. Situación Uruguay**

En un estudio realizado por Ferrer et al. (2007) se han identificado y caracterizado seis tipos climáticos, a su vez fue posible delimitar seis regiones vitícolas en el país. Las zonas abarcan el suroeste, litoral oeste, sur, sureste, norte, noreste y el centro del país (Figura 6).

Estas regiones tienen el potencial de catalogarse como Unidades Territoriales Vitícolas. Cuatro de los viñedos analizados pertenecen al tipo climático: Índice de Sequía (IS) A1, Índice Heliotérmico (IH) A3, Índice Frescor nocturno (IF) A2 que indica un clima templado con noches templadas y sequía moderada sometida simultáneamente a la influencia del Océano Atlántico y del Estuario del Río de la Plata. Como se observa en la figura 7, el viñedo de Colonia está situado en ISA1 IHA4 IFA1 que corresponde a un clima vitícola templado cálido, con noches cálidas y sequía moderada, zona situada sobre la ribera del Estuario Río de la Plata en la que afecta la brisa marina sobre la temperatura nocturna (medida como frescor nocturno).

Según Ferrer et al. (2007) 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 la Clasificación Climática Multicriterio, representando una primera aproximación a la zonificación vitícola (ver Figura 6). Los vinos de

las distintas regiones, presentaron diferencias significativas en: contenidos de alcohol, acidez total, pH, extracto seco y ácido tartárico.

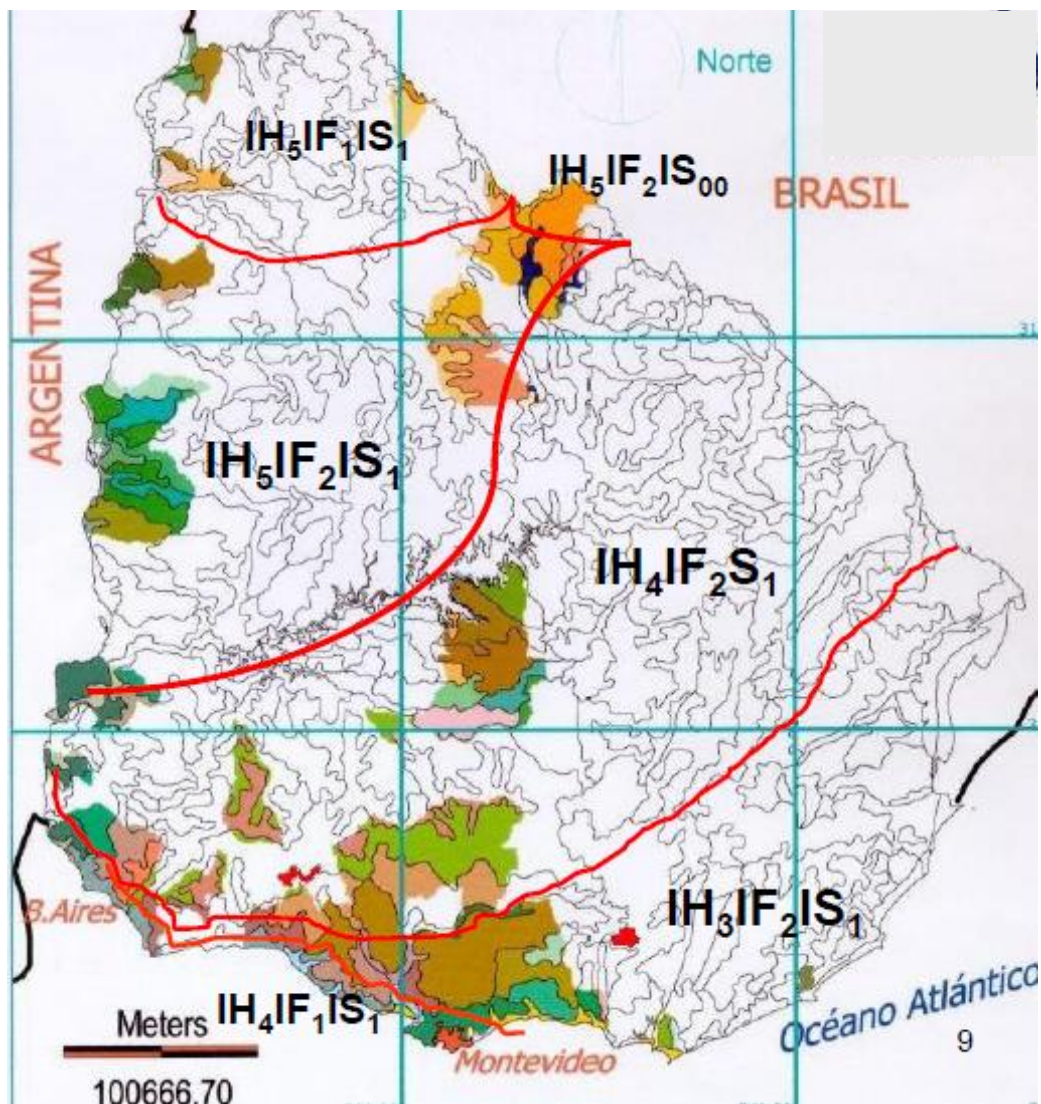


Figura 6: Clasificación climática multicriterios - Índices adaptados: zonas climáticas vitícolas. También presenta marcadas las zonas donde se encuentran los viñedos y las unidades de suelo asociadas a cada una.

Fuente: Ferrer et al. (2013)

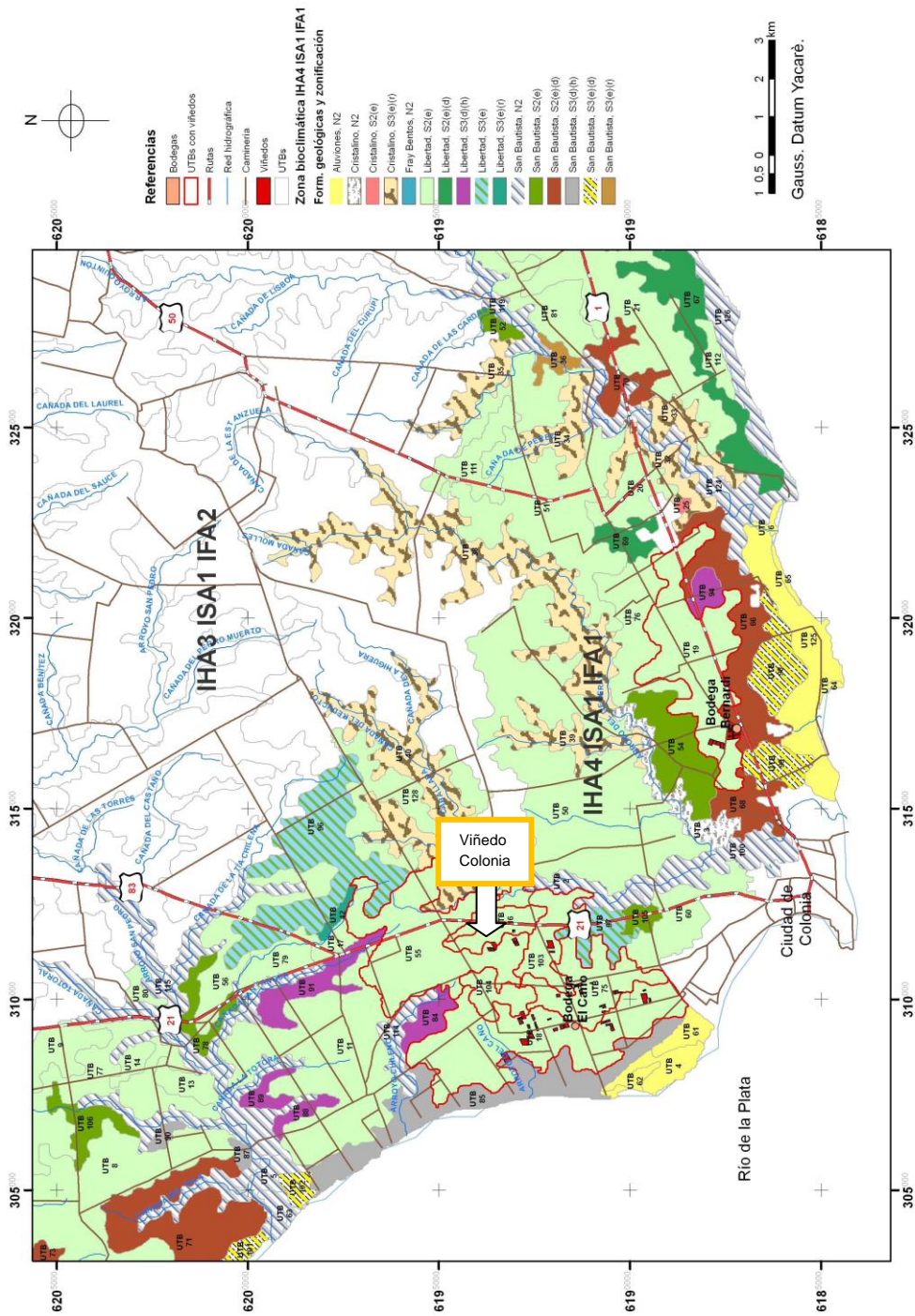


Figura 7: Mapa de Unidades Básicas de Territorio caracterizadas por un bioclima, geología y aptitud de suelos para el cultivo de la vid.

Fuente: Michelazzo (2011)

La definición de una unidad se basa en un abordaje multiescalar, interdisciplinario y comparativo, a partir de la caracterización del mesoclima, suelo y subsuelo (Ferrer 2004).

Existen varios trabajos de investigación nacionales que han aportado a la identificación de distintas unidades territoriales de base a nivel nacional como el realizado por Baccino (2003), en Sierra Mahoma-San José en el que se compiló antecedentes y se generó nuevo conocimiento acerca de la asociación entre los suelos y el material generador de los mismos. Echeverría et al. (2010) y Michelazzo & Califra (2006) realizaron trabajos en la zona suroeste del Departamento de Colonia y también fueron realizados relevamientos geológicos en las zonas de Nueva Hespérides – Corralito (Salto) y en Villa del Carmen (Durazno) llevadas a cabo por Bossi et al. (2008 a, b).

Asimismo se cuenta con un mapa de *terroirs* vitícolas potenciales (Figura 8), que señala la ubicación del viñedo de Colonia sobre el *Terroir* 1 según el trabajo realizado por Michelazzo (2011).



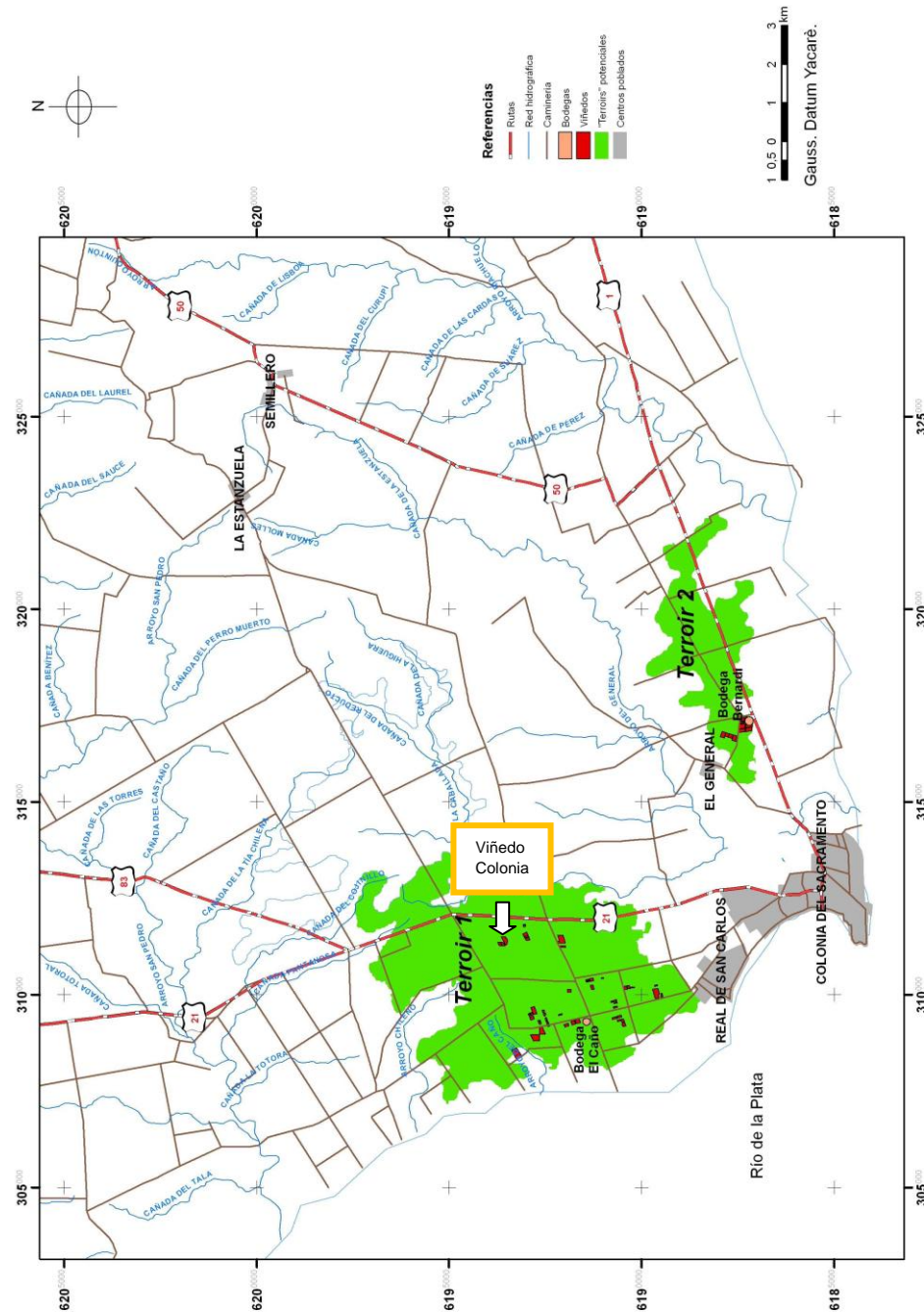


Figura 8: Mapa de Unidades Territoriales Vitícolas o *Terroirs* Vitícolas potenciales de los alrededores de Colonia del Sacramento

Fuente: Michelazzo (2011)

En síntesis, el sector vitivinícola podrá beneficiarse valorizando el producto vino en aspectos de calidad y tipicidad, lo que le daría fortaleza para posicionarse en el mercado internacional de vinos de alta gama. Es una herramienta válida de marketing apoyando la idea de Uruguay natural. El consumidor local reconocería al producto nacional con un valor agregado. En la medida que los países de la región están desarrollando el concepto de *terroir*, con un fuerte impulso a la investigación de este tema, nuestro sector podría quedar en desventaja en el comercio regional y ser utilizado como una barrera no arancelaria. La generación de conocimientos producto de la investigación para definir estos *terroir*, permitirá una mejor utilización de las diferentes prácticas agronómicas y enológicas, que en el mediano plazo debería significar una mejora sensible de la relación costo/calidad. (Ferrer y Cammussi 2001 citado por Echeverría 2003).



## 2.4. Antecedentes sobre la geología de los viñedos

En la Figura 9 se puede observar la distribución de los viñedos estudiados en el Sur de Uruguay, abarcando de este a oeste. Tres de ellos se ubican en el departamento de Canelones, el cual ha estado históricamente vinculado a la producción de vino.

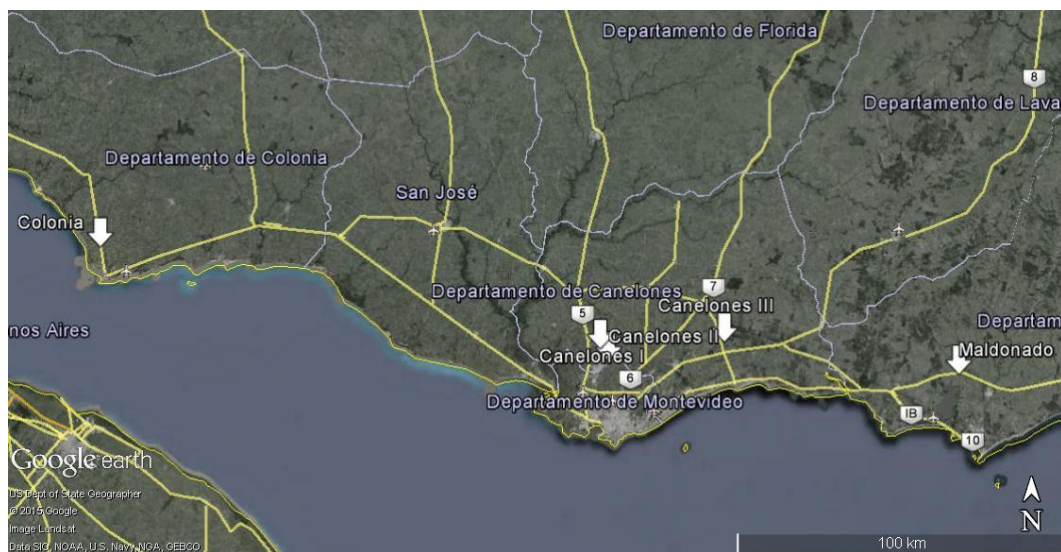


Figura 9: Imagen satelital tomada de *Google Earth* con los cinco viñedos marcados mediante flechas blancas.

En las siguientes figuras se mostrará la ubicación de cada viñedo en los antecedentes geológicos más recientes disponibles a nivel nacional. Como se observa en los próximos mapas (Figuras 10, 11, 12 y 13), todos los viñedos se encuentran sobre Formación Libertad.

### **2.4.1. Viñedos Canelones I y II**

Los antecedentes que existen para el viñedo I y II del Departamento de Canelones se relevaron de la carta geológica de Canelones a la escala 1/100.000 de Spoturno et al. (2005), la misma señala las siguientes unidades geológicas:

#### Formación Dolores

Según Spoturno et al. (2005) dicha formación presenta las siguientes características, aparece expresada en las terrazas altas que se asocian a los valles de los principales cursos de agua y en la faja costera.

Se caracteriza por presentar superficies planas. En los valles fluviales esta superficie está comprendida entre: los terrenos ondulados, y el plano aluvial más reciente cuyo límite está definido por una barranca o entalle de abrasión parcialmente degradado.

Litológicamente se han reconocido: loess arenosos, sedimentos limo arcillosos y fangos con variable contenido de fracciones arena, gravilla y grava.

El carbonato de calcio es un componente común especialmente en los niveles arcillo-limosos y fangolíticos. Se presenta como cemento distribuido de manera homogénea en concreciones nodulosas de hasta

2 cm de diámetro y en formas irregulares. El espesor máximo de la formación constatado, por cateos, es de 7 metros.

Genéticamente, la unidad se relaciona a un sistema continental semiárido de tipo estepario con períodos más húmedos y algo más templados.

Los fósiles de tortugas, mamíferos y moluscos de agua dulce encontrados en otras regiones de Uruguay en esta unidad han permitido asignarle a esta unidad una edad Pleistoceno tardío (Ubilla & Perea 1999 citados por Goso 2006).

#### Formación Libertad

La Formación Libertad fue creada por Goso (1965), separándola de un conjunto de sedimentos cuaternarios que autores anteriores denominaban Loess de Arazatí, término que había sustituido la denominación original de Pampeano.

Litológicamente está integrada por materiales sedimentarios de granulometría fina: arcillitas, limo-arcillitas, limos loésicos. La fracción arena ocurre con frecuencia como clastos de cuarzo y feldespato, dispersos en la matriz fina; adquiriendo la roca carácter fangolítico. El carbonato de calcio aparece de manera frecuente en esta unidad. Y está expresado de diversas maneras: disperso como cemento y en

agrupamientos en diversas formas: concrecional, muñecas y pequeños bancos irregulares en disposición subhorizontal. En cuanto al color se aprecian tonalidades marrones y grisáceas. La presencia de carbonato en sus diferentes formas genera cambio de tonalidades hacia los términos más claros.

La estructura interna es masiva con importante presencia de bioturbaciones: canales de vermes y restos de raíces humificadas (pedotúbulos). Genéticamente la unidad se vincula a un sistema continental coincidente con algunas de las glaciaciones del Cuaternario.

Las litologías de granulometría menor muestran momentos más templados con importante contenido de humedad y desarrollo vegetativo, las tonalidades marrones y grisáceas marcarían condiciones cambiantes de óxido reducción, posiblemente el incremento del espesor de la capa de agua y su baja movilidad marcaría un ambiente más reductor.

Las facies fangolíticas evidencian procesos de removilización por flujo de barro con transporte de tipo gravitacional. Las relaciones de contacto son de discordancia, tanto en la base como en el techo. Se apoya de manera indistinta en las formaciones del Terciario, Cretácico y rocas proterozoicas. En el tope es discordante, a través de diversos registros de entalles de erosión, con las formaciones del Pleistoceno Medio y Superior. El espesor de la unidad, es variable entre 20 metros a no más de 2 a 3 metros (Spoturno et al. 2005).

En base al trabajo de Goso (2006) quien cita que en la Formación Libertad II (San Luis - Canelones) se han encontrado fragmentos grandes de mamíferos en la porción inferior (flujos de barro), los mismos fueron asociados a los órdenes Xenarthra (géneros *Glytodon* y *Lestodon*), Artiodactyla (Cervidae indet. y *Tayassu* sp., *Perissodactyla* (Equidae indet.) y Notoungulata (*Toxodon* sp.). A su vez en la mitad y hacia el tope del perfil (probablemente eolianitos retrabajados) se encontraron casi exclusivamente restos óseos de microvertebrados de anfibios leptodactílicos, reptiles de la familia Colubridae y aves de los órdenes Caviidae (Género *Galea*), Cricetidae (género *Akodon*) y Furnariidae.

Los restos fosilíferos encontrados y atribuibles a esta unidad han permitido vincularla con el Piso- Edad Ensenadense (Plioceno Tardío- Pleistoceno medio temprano según Cione & Tonni 1995).

En una investigación más reciente realizada por Bossi & Ortíz (2007), se caracterizó una unidad denominada La Carolina en sitios ubicados por antecedentes sobre Formación Libertad.

Durante el trabajo anteriormente mencionado se realizaron sondeos edafológicos (calicatas), donde se observó que sobre rocas clasificadas como anfíbolitas se forma una capa de limo con magnitudes superiores a dos metros de espesor en condiciones paleo climáticas más cálidas y húmedas que las actuales, indicado por la presencia de

caolinita, éste fue datado en 1,7-1,5 Ma por termoluminiscencia (Ortiz et al. 2006).

Ese limo contiene abundante arena gruesa, bloques de hasta tres kilos en suspensión, dominio de epidoto y hornblenda en las arenas y presenta pruebas de deslizamiento posterior a su formación.

Esta unidad corresponde entonces a una unidad pedogénica y no sedimentaria, como se describió inicialmente para la Formación Libertad (acumulación eólica).

#### Formación Mercedes

Inicialmente esta unidad fue designada como areniscas de Mercedes al material encontrado en una perforación realizada en la ciudad que lleva el mismo nombre. Más tarde Bossi (1966) la define con la categoría de formación y la redefine en 1975; quedando caracterizada como areniscas, conglomerados, pelitas y niveles calcáreos.

Goso (1999) propuso agrupar esas litologías en dos miembros: Yapeyú y del Chileno. El primero es el que se encuentra aflorando en Canelones, mostrando litologías arenosas del orden de los 60 metros de espesor. Ésta presenta relaciones de contacto discordante con la unidad infrayacente Formación Migues y es cubierta discordantemente por unidades cenozoicas.

El Miembro Yapeyú está compuesto por areniscas de granulometría variada, en las que predominan las finas, de regular a

buena selección, redondeadas a subredondeadas, cuarzosas a cuarzo-feldespáticas y a veces con cemento silíceo, con intercalaciones de niveles conglomerádicos. Los colores son blancuzcos a grises claros.

Se considera que la sedimentación de dicha unidad ocurrió en ambientes de tipo fluvial, asociados a la fase de asentamiento de la cuenca, con variaciones litológicas que denotan cambios en las condiciones sedimentarias, bajo clima semiárido.

#### Granito de La Paz

Según Spoturno et al. (2005) los afloramientos naturales son muy escasos, el macizo se presenta alterado en superficie y cercano a la misma y en gran parte cubierto por una cobertura de los sedimentos de Formación Libertad (puede llegar a 10m de espesor).

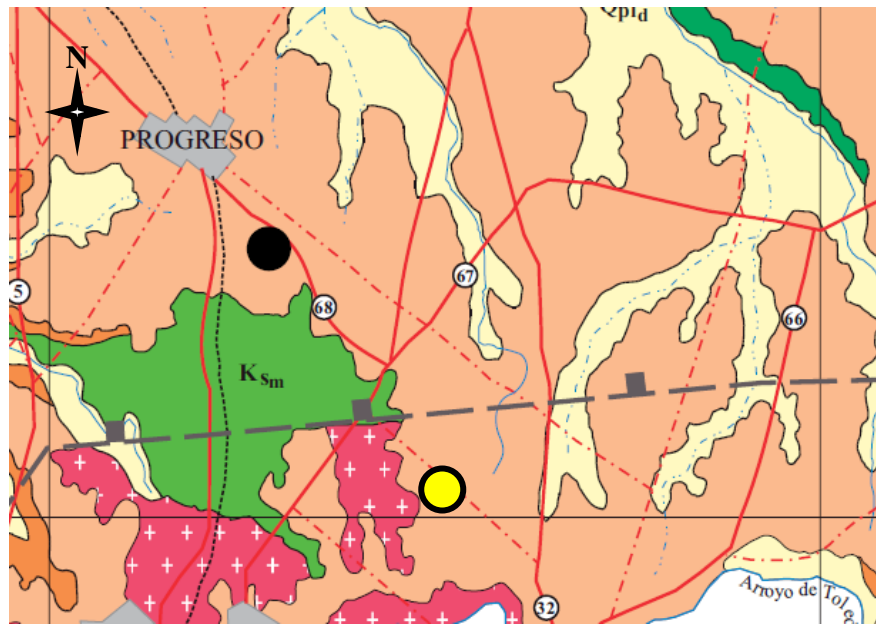
Éste se trata de un granito donde se reconoce dos facies principales: una porfiroide y otra equigranular. Asimismo se reconocen enclaves máficos biotíticos y enclaves de pórfido microgranítico. De manera discordante, ocurre una importante actividad filoniana básica y ácida.

La facie porfiroide presenta fenocristales de microclina. La ortosa es escasa, se observa en cristales escasamente peritéticos y muy albitizados, rodeados de plagioclasa, conformando texturas tipo rapakivi.

La composición modal es: cuarzo 24%; feldespato alcalino 53%; plagioclasa 18%; ferromagnesianos 5% (Abre et al. 2014).

Abre et al. (2014) presentan una datación U- Pb en circones de  $585 \pm 4$  Ma (Ediacárico medio) y la geoquímica en roca total que evidencia un origen de intraplaca para este plutón.





10km

Referencias:

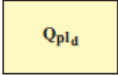

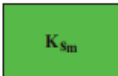
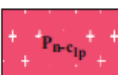
	<b>Formación Dolores</b>
	<b>Formación Libertad</b>
	<b>Formación Mercedes</b>
	<b>Granito de La Paz</b>

Figura 10: Detalle de los antecedentes geológicos del viñedo

Canelones I: ● y viñedo Canelones II: ● según Spoturno et al. (2005).

### **2.4.2. Viñedo Canelones III**

Se describe a continuación los antecedentes de las unidades geológicas aflorantes en este viñedo, salvo la Formación Libertad que fue descrita en el capítulo anterior.

#### **Suite Granítica Mosquitos**

Oyhantçabal et al. 2003 agrupa dentro de esta Suite al conjunto de intrusiones graníticas con mineralogías típicamente peraluminosas y grado variable de deformación, que presenta desde texturas francamente miloníticas asociadas a zonas de cizallamiento, hasta granitos. Incluye por lo tanto, a la Formación Mosquitos (sensu Campal et al. 1988 y Coronel & Oyhantçabal 1988). Los afloramientos se disponen sobre una faja de rumbo aproximada N60E, que en su borde norte está delimitada por una zona de cizalla donde la expresión geomorfológica es el Cerro Mosquitos y las litologías son las cuarcitas miloníticas y milonitas graníticas.

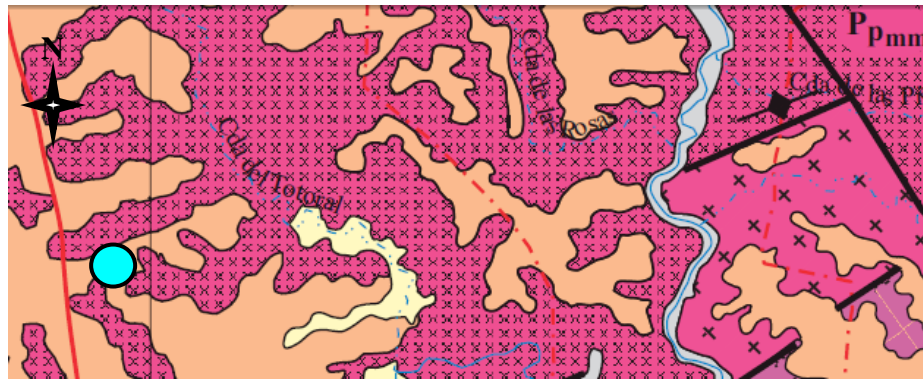
#### **Granitos Muscovíticos Protomiloníticos**

Al sur de las cuarcitas y milonitas graníticas se desarrollan granitos muscovíticos y a dos micas, equigranulares y porfiroides con fenocristales de microclina. La matriz está constituida por microclina, plagioclasa, cuarzo, biotita, apatito y circón. Las rocas deformadas de

esta unidad presentan foliación de rumbo N60E y lineaciones de estiramiento promedio 20° al N70E.

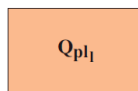
#### Milonitas Graníticas y Cuarcitas Miloníticas

Las milonitas graníticas presentan microclina, muscovita y cuarzo con textura milonítica. Las cuarcitas están constituidas por cuarzo de mayor tamaño, con desarrollo de subgranos y fuerte extinción ondulosa y granos de cuarzo de menor tamaño vinculados a recristalización dinámica. Presentan muscovita correspondiente a 3 generaciones, cristales mayores que desarrollas con frecuencia peces de mica, sericita sintectónica y grandes cristales tardíos poiquilíticos según Oyhançabal et al. 2003.



10km

Referencias:

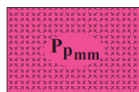


Formación Libertad

Suite Granítica Mosquitos:



Granitos Muscovíticos Protomiloníticos



Milonitas Graníticas y Cuarcitas Miloníticas

Figura 11: Detalle de la geología del viñedo Canelones III (●) ubicado al este del Departamento de Canelones según Spoturno et al. (2005).

### **2.4.3. Viñedo Maldonado**

#### Formación Dolores

Ver descripción anterior.

#### Formación Libertad

Según Spoturno et al. 2012 en esta región, por razones de cobertura edáfica, no fue posible estudiar en el campo toda el área reconocida como probable Formación Libertad en la fotointerpretación. Es posible que algunas de esas áreas correspondan en realidad a regolito derivados de la alteración meteórica del propio granito.

No se ha encontrado un perfil completo pero se han reconocido de forma aislada las siguientes litologías: arcillitas, limo arcillitas, fangolitas, limolitas y paleosuelos. Estos sedimentos, a excepción de su textura, presentan parámetros comunes: las fracciones arena fina y media, de composición cuarzosa, son un componente que aparece sobre todo asociado a los limos, que pueden llegar a ser bastante arenosos.

Además la estructura es masiva con presencia localizada de bioturbaciones como canales de vermes y restos de raíces humificadas, también es reconocible, la presencia de macroporosidad en los niveles

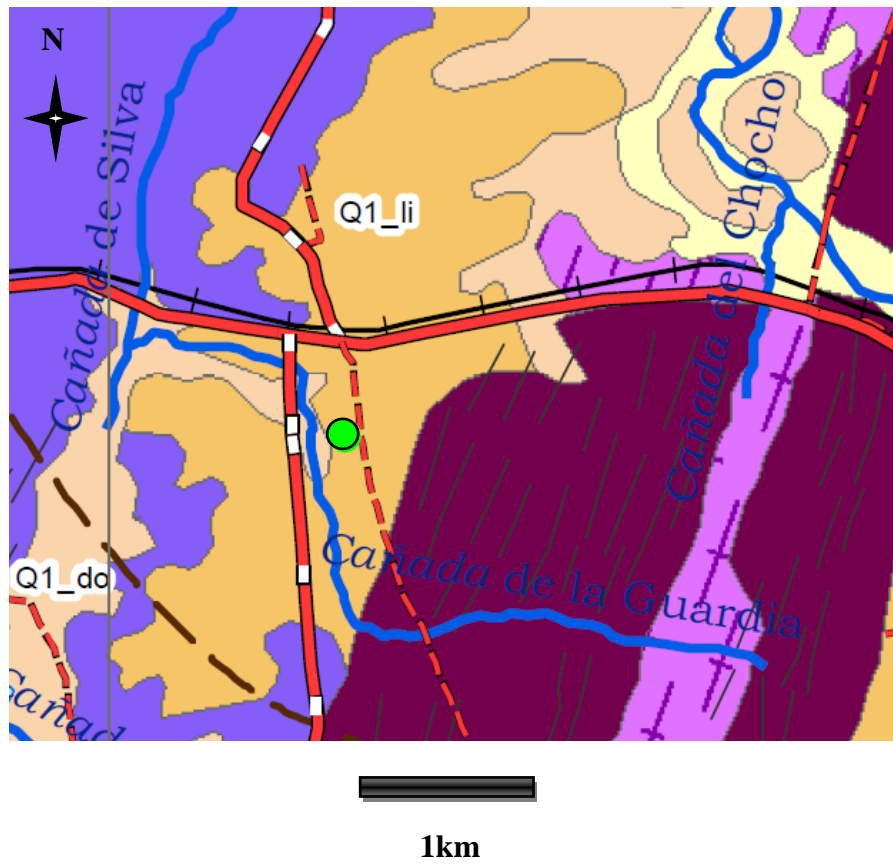
limosos y *slickensides* de arcillas tapizando planos de fisuras o resquebrajamiento.

#### Fajas Miloníticas de la Zona de Cizalla de Sierra Ballena

La zona de Cizalla Sierra Ballena según Oyhantçabal et al. (2006) se caracteriza por ser una zona de deformación transcurrente, relacionada con el desarrollo de las zonas subverticales de alta deformación. Asociados a ésta se emplazaron granitos sintranscurretes, el macizo más importante en el sur es el Batolito de Aiguá, cuyos plutones arrojan edades U-Pb entre 614 y 572  $\pm$ 3 Ma (Oyhantçabal et al. 2007 citado por Bossi & Gaucher 2014).

Oyhantçabal et al. (2006) señala que también durante esta fase se emplazan diques de cuarzo en la zona de cizalla, los que evolucionan a cuarzo- milonitas (datadas en muscovita por Ar-Ar en 581  $\pm$  5 Ma). Éstas también se observaron pero en menor proporción que las milonitas graníticas.

Por otro lado, Gaucher et al. (1998), Bossi et al. (1998) y Bossi & Gaucher (2004, 2014) consideran en base a las relaciones de corte con el Grupo Arroyo del Soldado y la edad del Granito de Guazunambí (532  $\pm$ 11 Ma, Rb-Sr: Kawashita et al., 1999) que la Zona Cizalla Sierra Ballena tuvo su movimiento principal en el Cámbrico Inferior (aprox. 535 Ma).



Referencias:

- Formación Dolores (Q1\_do)
- Formación Libertad (Q1\_li)
- Fajas Miloníticas [ 550 - 580 M.a.]

Figura 12: Antecedentes geológicos del viñedo Maldonado (●) localizado en el Departamento de Maldonado según Spoturno et al. (2012).

#### **2.4.4. Viñedo Colonia**

##### Formación Raigón-Miembro San Bautista

Bossi y Navarro (1991) citan que en la Formación Raigón podrían diferenciarse tres unidades lito-estratigráficas: Miembro San Bautista, Miembro Mauricio y Miembro Kiyú. El Miembro San Bautista se encuentra compuesto por limos de tonalidades pardo, algo anaranjados, de naturaleza loésica, con escasos niveles conglomerádicos en la base. Su génesis estaría ligada a formas del terreno planas, con inundaciones periódicas frecuentes, con desarrollo de suelos asociados a períodos que permiten el crecimiento y desarrollo de vegetación. Este miembro presenta espesores variables, desde un metro en el balneario Kiyú hasta 12 metros en el departamento de Canelones.

##### Formación Libertad

Michelazzo y Califra (2006) mantienen la descripción de Bossi y Navarro (1991) y su análisis granulométrico es coincidente con los datos promedio encontrados por Bossi (1966) para las lodolitas de Colonia y sur del país.

##### Aluviones

Agrupación muy heterogénea de materiales sedimentarios acumulados en épocas recientes por los actuales cursos de agua.



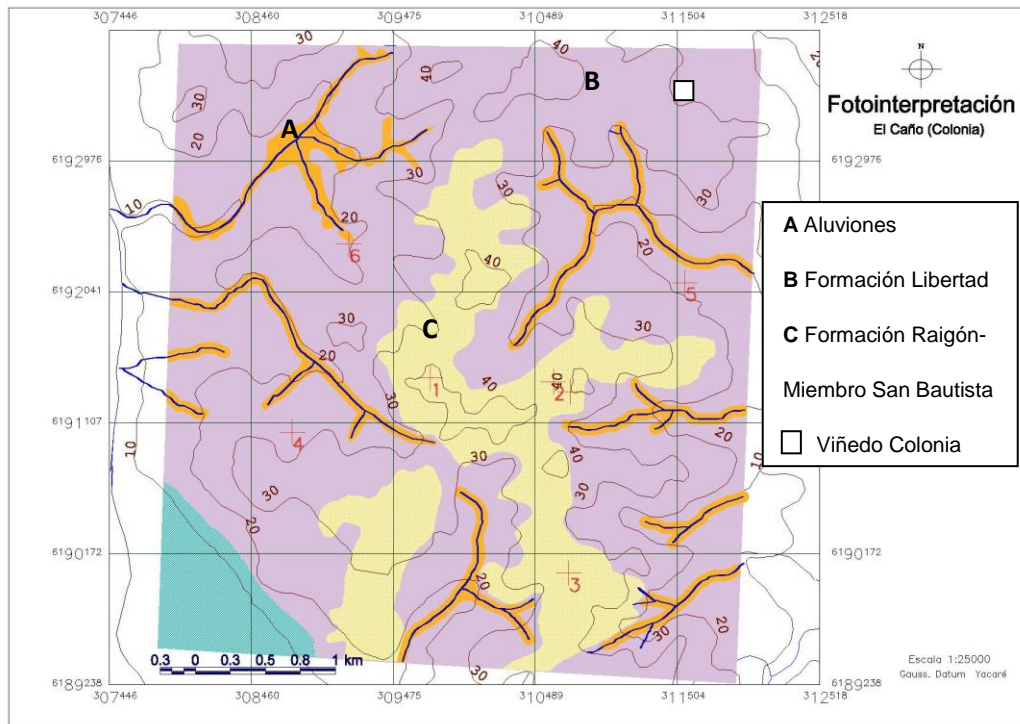


Figura 13: Fotointerpretación con identificación de unidades geológicas en la zona El Caño (Colonia) según Michelazzo y Califra (2006).

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Selección de viñedos**

Los viñedos son de la variedad Tannat. Estos se encuentran ubicados uno en el Departamento de Maldonado, tres en Canelones y uno en Colonia, asociados a determinadas zonas climáticas identificadas a nivel nacional (los primeros cuatro en IHA4 ISA1 IFA1 y el quinto en IHA3 ISA1 IFA2 definidas por Ferrer, 2007).

Los viñedos comerciales como las parcelas marcadas en cada uno, fueron seleccionados por el Grupo de Vitivinicultura de Facultad de Agronomía para desarrollar proyectos de investigación, donde se está estudiando el efecto de otros factores no involucrados en esta tesis. Los viñedos de Colonia, Canelones III y Maldonado fueron elegidos en el sur para evaluar diferentes zonas a través de variables vitícolas y los restantes viñedos en Canelones (I y II) se tomaron para investigar el efecto de la brisa marina a diferentes distancias del Río de la Plata.

Ninguno de los sitios presenta un estudio geológico previo con el detalle que se necesita para analizar cada cuadro que lo compone.

### **3.2. Obtención de muestras**

Se seleccionaron muestras de rocas representativas del área estudiada y se sacaron muestras de los primeros 20cm de suelo con taladro holandés para todos los lugares.

Las muestras de vino fueron cedidas por el Grupo Disciplinario de Vitivinicultura de la Facultad de Agronomía. Según datos del Sr. Gerardo Echeverría (com. pers.), el grupo recolectó uva de las parcelas de ensayo instaladas en predios comerciales. Cada parcela de observación está integrada por 25 plantas de la variedad Tannat seleccionadas al azar, conducidas en espaldera, distribuidas en 3 filas contiguas con orientación norte-sur.

El grupo realizó el seguimiento de la maduración a partir del 50% de envero para determinar la composición de la uva, realizando muestreos semanales según el método propuesto por Carbonneau et al. (1991) para obtener datos que fueron utilizados en otros trabajos. La uva fue cosechada cuando llegó a la “maduración tecnológica”, que se define en función del tenor en azúcares (máximos valores), acidez total (3.70 a 4.50 g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.L-1), pH (3.40 a 3.60), teniendo en cuenta el peso de la baya (gr) y el estado sanitario. Además los granos de cada muestra se utilizaron para determinar la composición básica mediante el empleo de análisis clásicos (contenido de azúcares, acidez total y pH), realizadas en

el mosto. Los contenidos de azúcares se determinaron por refractometría, la acidez total por volumetría y el pH por potenciometría.

Según el Sr. Gustavo Gonzalez (com. pers.) los vinos fueron elaborados procesando las uvas con una molidora descobajadora de rodillos Alfa 60 R (Italcom, Italia). Los mostos se encubaron en recipientes de acero inoxidable de 100 litros de capacidad, donde se realizaron la maceración y la fermentación alcohólica en simultáneo. Enseguida de la molienda se agregó anhídrido sulfuroso (5 gramos cada 100kg de uvas) y levaduras secas activas (15g/hL).

La maceración se realizó durante siete días en todos los casos, con remontajes y bazuqueos dos veces al día. Al descube, los orujos fueron prensados con una prensa manual de tornillo, de acero inoxidable, juntándose los jugos de prensa y de gota.

Los vinos se trasegaron a recipientes de vidrio de 10 litros de capacidad, donde fueron conservados, realizándose periódicamente análisis y correcciones de anhídrido sulfuroso. Finalmente se colocó en botellas de 1 litro aproximadamente.

### 3.3. Estudio geológico

Éste consistió en ordenar los antecedentes publicados e inéditos sobre la estructura geológica, petrografía y geoquímica. Luego se hizo la fotolectura y fotointerpretación de las fotos aéreas que abarcan los cinco viñedos.

Posteriormente se efectuaron relevamientos geológicos de la zona a escala 1/20.000 y de los viñedos a escala 1/7.000. El relevamiento a escala 1/20.000 se hizo por métodos convencionales utilizando fotos aéreas de esa escala y ubicando las observaciones de campo con GPS. Para las cartas a escala 1/7.000 se usaron imágenes satelitales obtenidas de *Google – Earth* en cada zona.

La identificación de las rocas metamórficas utilizando láminas delgadas se realizó con un microscopio petrográfico Leica- DMLP-DFC290 HD en Facultad de Ciencias. El tratamiento fue diferente en cada caso: láminas delgadas para las rocas metamórficas y estudio de granulometría en las rocas friables, suelos o regolitos. Se utilizó como referencia los libros: Trouw & Paschier (2010) y Kerr (1965) para la descripción de las láminas delgadas de rocas.

Se maneja la información analizada por el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca sobre diferenciación de las fracciones: arena, limo y arcilla. El análisis se llevó a cabo en las muestras de suelo de los cinco viñedos y el material geológico sedimentario de algunos viñedos,

realizando destrucción de la materia orgánica previo al análisis. También se tomaron datos de análisis de bases totales para analizar la capacidad de intercambio catiónico.

### **3.4. Geoquímica**

Las muestras de roca, suelo y vino fueron enviadas al laboratorio del “Department of Geosciences and Natural Resources Management” de la Universidad de Copenhague, bajo la supervisión del Prof. Robert Frei, para realizar el análisis de los elementos trazas: Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Pb, Th, U, Mo. Todos los elementos fueron medidos a través del método Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS).

A su vez se analizaron las relaciones isotópicas de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  y  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  en roca total por el método Espectrometría de Masa de Ionización Térmica con dilución de isótopos (ID- TIMS). Esta técnica se basa en la separación de iones en función de su carga y masa en un campo magnético. Para esta medición se utilizaron extractos de suelo donde se trabajó con 1 g de suelo y 10 ml de  $\text{HNO}_3$  0,05 N que se dejaron vibrar 10 minutos y se tomó 1 ml de la solución de Sr o Pb biodisponible para procesar químicamente.

Además fueron enviadas muestras de roca para analizar los elementos mayores y traza al laboratorio de Actlabs en Canadá. Los elementos determinados fueron: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Sc, Be, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, In, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Th, U.

Los elementos SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Sc, Be, V, Sr, Y, Zr, Ba fueron determinados utilizando Espectrofotometría de Plasma con Acoplamiento Inductivo (ICP- OGS) mediante digestión de una perla de fusión y con el resto de los elementos se utilizó Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP- MS). Un ICP-MS combina un ICP de alta temperatura (plasma acoplado inductivamente) fuente con un espectrómetro de masas. La fuente ICP ioniza los átomos de los elementos presentes en la muestra. Luego estos iones se separan y son detectados por el espectrómetro de masas.

La preparación de la muestras en el laboratorio Actlab comienza con la pulverización de la roca utilizando acero blando. Posteriormente la técnica emplea una fusión con metaborato / tetraborato de litio. El fundido resultante se digiere rápidamente en una solución de ácido nítrico débil. La fusión asegura que se disuelve toda la muestra. Es sólo con este ataque que los principales óxidos incluyendo SiO<sub>2</sub>, minerales refractarios

(es decir, circón, monacita, y otros), tierras raras y otros elementos de se ponen en solución.

### **3.5. Análisis de los datos**

Se realizó un análisis multivariado para determinar si existen diferencias entre los sitios de estudio que corresponden a cinco viñedos de Tannat ubicados: uno en el departamento de Colonia, uno en Maldonado, dos en el centro de Canelones y otro al este de Canelones. Todos los sitios se encuentran sobre Formación Libertad según los antecedentes publicados más recientes.

En función de la cantidad de datos se seleccionó el método de conglomerados, que no se identifica con un método estadístico en particular. Este método no hace ninguna hipótesis sobre la distribución subyacente de los datos.

Se formaron grupos de variables relacionadas como: contenido de bases y granulometría, composición de elementos traza y relación de isótopos Sr y Pb.

Se utilizó el procedimiento para agrupar los datos, denominado análisis de conglomerados jerárquico. La agrupación jerárquica de aglomeración comienza con cada caso que es un grupo en sí mismo, en pasos sucesivos, las agrupaciones similares se fusionan. El agrupamiento



divisivo comienza con todas las variables en un solo clúster y termina con todas las variables en grupos individuales (Manly 2005).

Para formar grupos utilizando un análisis de conglomerados jerárquico, se seleccionó:

- Un criterio para determinar la similitud o distancia entre los casos
- Un criterio para determinar qué grupos se fusionan en las etapas sucesivas
- El número de agrupaciones que necesita para representar sus datos (como máximo 5).

La distancia es una medida de cuán lejos están los dos objetos, mientras que la similitud es cuán similares son las medidas de dos objetos.

Se realizó una representación visual de la distancia en la que se combinan las agrupaciones, denominado dendrograma. Éste se lee de izquierda a derecha. Las líneas verticales indican las agrupaciones unidas. La posición de la línea en la escala indica la distancia a la que se unen grupos. Las distancias observadas se reajustarán a caer en el rango de 1 a 25, por lo que no ven las distancias reales; sin embargo, la relación de las distancias llevadas a una nueva escala dentro del dendrograma es la misma que la relación de las distancias originales (Manly 2005).

Se utilizó el método del vecino más cercano, porque para formar los grupos la distancia entre ellos se define como la distancia más pequeña entre dos casos en los diferentes grupos y esto coincide con la hipótesis de que existe cierta similitud dentro de un sitio y diferencias entre ellos.

El programa utilizado para analizar los datos obtenidos a través de la herramienta conglomerado fue Infostat.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Descripción y cartografía geológica

#### 4.1.1. Viñedo Canelones I

El viñedo no presenta afloramientos del material del subsuelo (Figuras 14 y 15).



Figura 14: Vista panorámica del viñedo donde se puede apreciar un conjunto de filas y entre filas de la variedad Tannat en un relieve de lomada suave.



Figura 15: Acercamiento a las filas marcada para realizar el seguimiento del cuadro.

En toda la perforación realizada (4,7m) se mantiene el color pardo, la presencia de niveles con abundante carbonato de calcio tanto pulverulento como concreciones y la observación de pátinas negras. Además la textura es limo- arcillosa con partes donde aumenta en contenido de arcilla y no se encontró gravilla en todo el perfil (Figura 16 y 17).



Figura 16: Perfil de suelo y subsuelo del cuadro estudiado, a la izquierda se encuentra el taladro Holandés utilizado para extraer el material.

El perfil (Figura 16) se describe a continuación desde la parte superior a la base:

**0 – 0,94m** Suelo color pardo (los colores fueron definidos en húmedo), arcilloso con escasas concreciones de FeMn. Presenta un nivel

de carbonato pulverulento y concreciones centimétricas de carbonato de calcio.

**0,94 – 1,61m** Aumenta la presencia de limo frente al contenido de arcilla, color gris y disminuye la presencia de carbonato de calcio.

**1,61 – 2,99m** material limo-arcilloso, de color pardo con tonos de gris, presenta algunas concreciones centimétricas (de hasta 1.5cm), poca presencia de carbonato pulverulento excepto entre 2.41-2.61m donde se localiza un nivel de carbonato pulverulento.

**2,99 – 3,43m** material arcillo-limoso, color rosado, sin carbonatos apreciables a simple vista, pocas pátinas negras con algunas color naranja.

**3,43 – 3,74m** limo de tono rosado, friable, con algunas pátinas naranjas, negras y carbonatos.

**3,74 – 3,84m** nivel de carbonato pulverulento de 10cm de espesor como máximo.

**3,84 - 4,19m** limo de color rosado con moteados grises, disminuye el contenido de carbonato con respecto al nivel anterior (asociado a las manchas grises), aumenta levemente la presencia de arcilla, abundantes pátinas naranjas. Se presentan concreciones milimétricas de FeMn.



**4,19 – 4,70m** limo en que predomina el color gris y existen moteados rosados, existe carbonato pulverulento junto a las concreciones. Se presentan pátinas naranjas.

Dicho perfil no presenta gravilla en ningún nivel.



Figura 17: Detalle del limo encontrado en el último tramo del perfil en el que se nota el carbonato pulverulento diseminado.

El origen del material madre se asocia a la Formación Libertad dadas las características del perfil, la ausencia de gravilla en todo el perfil, el bajo contenido en arena y limo del perfil como el apreciable contenido de arcilla (Cuadro 5).

Cuadro 5: Bases (meq/100gr de suelo) y análisis de granulometría Canelones I.

Ca	Mg	K	Na	Suma de bases	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase textural	Muestra
33,7	3,7	0,9	1,45	39,8	27	31	42	Arcilloso	Suelo (primeros 20cm)
24,3	14,8	0,7	3,59	43,39	7	26	67	Arcilloso	limo

Para cumplir con uno de los objetivos específicos planteados se realizó la carta geológica de viñedo y su zona adyacente (Figura 18).



Figura 18: Carta geológica del viñedo Canelones I



#### **4.1.2. Viñedo Canelones II**

El viñedo no presenta afloramientos rocosos en superficie (Figura 19) por lo tanto se realizó una perforación de 4,6m que se muestra en la Figura 20.



Figura 19: Viñedo de Canelones II mostrando las filas y entre filas de la variedad Tannat en un relieve de lomada suave.



Figura 20: Cateo realizado en el viñedo Canelones II junto al taladro Holandés y dos niveles con abundante carbonato marcados con sarmientos secos.

El perfil de la Figura 20 se detalla a continuación:

**0 - 0,8m** se observó el suelo con un horizonte A de color negro y un Bt de color negro, arcilloso.

**0,8 - 2,15m** se observa un material madre limoso, de color pardo y presencia de fragmentos de cuarzo y feldespato de hasta 0,5cm.

**2,15-m** cambia el color a pardo grisáceo. Sin embargo se intercalan en todo el perfil niveles con abundante carbonato y se encuentra gravilla en todo el perfil hasta fragmentos de 1cm, en un caso con cuarzo y feldespato.

Este viñedo se encuentra según los antecedentes sobre Formación Libertad. Sin embargo el material limoso presenta características litológicas como similar contenido de limo y arcilla en el suelo y el limo (Cuadro 6), éstas muestran claramente la relación con las rocas subyacentes, como presenta la Unidad La Carolina de Bossi & Ortíz (2007), cuestionando el origen eólico que presenta dicha formación en su concepción original.

Cuadro 6: Bases (meq/100 gr de suelo) y análisis de granulometría en Canelones II

Ca	Mg	K	Na	Suma de bases	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase textural	Muestra
12	5,6	0,9	0,43	18,38	26	33	41	Arcilloso	Suelo (primeros 20cm)
22,3	8,4	0,7	0,63	32,03	17	36	47	Arcilloso	Limo

Además se elaboró una carta geológica del viñedo en la Figura 21 para mostrar el material madre del sitio.

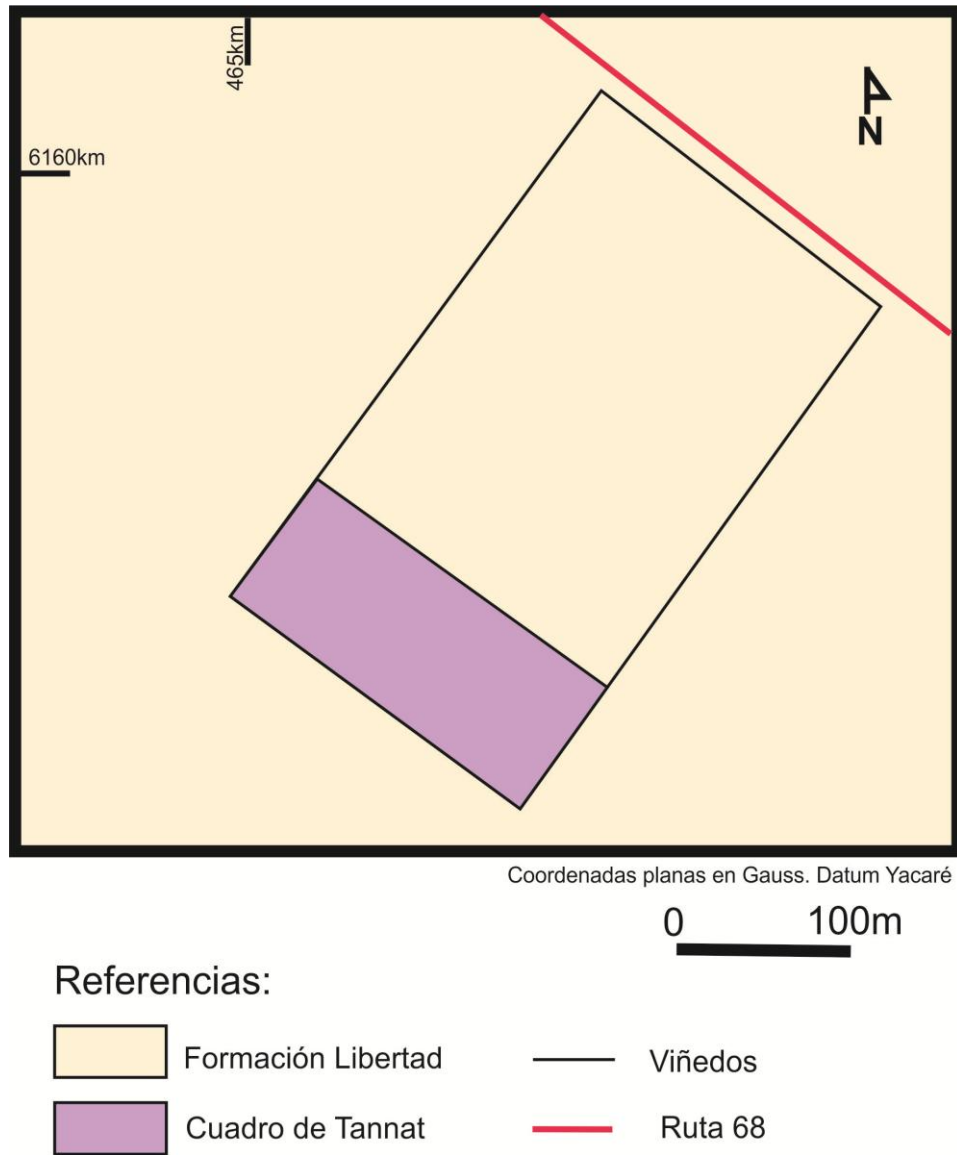


Figura 21: Carta geológica del viñedo Canelones II



### **4.1.3. Viñedo Canelones III**

Este viñedo se localiza cercano a la intersección de la Ruta 11 y la Ruta 8 dentro del departamento de Canelones.

Se observó variación de características y profundidad de suelos.

En la zona se realizó la descripción de una serie de afloramientos y la descripción de una cantera (Cpx: 499.997km, Cpy: 6165.661km, z: 60m) encontrada dentro del viñedo.



Figura 22: Imagen general de la cantera ubicada dentro del predio que abarca el viñedo, donde se observa el material meteorizado y en la parte superior el suelo poco desarrollado que se genera a partir de éste material parental.

En la cantera (Figura 22 y 23) se expone un perfil de 2 a 3 metros de altura donde se ve un suelo poco profundo y una zona de gran alteración del mismo material que continúa hacia la base del perfil. La roca predominante dentro de la cantera presenta abundante cuarzo y muscovita, en menor proporción feldespato, presentando evidencias de deformación intensa.



Figura 23: Perfil que muestra el pasaje gradual del material madre al suelo, viendo fragmentos del material madre meteorizado dentro del perfil poco desarrollado.

El rumbo general encontrado corresponde a N80E y buzamiento no definido claramente.

En lámina delgada se determinó una alta proporción de muscovita con orientación variable y cuarzo con extinción ondulosa, bordes irregulares y completamente recristalizado (Figuras 24, 25 y 26). En

menor proporción feldespatos y de forma accesoria otros minerales como biotita y rutilo (figuras 26 A y B).

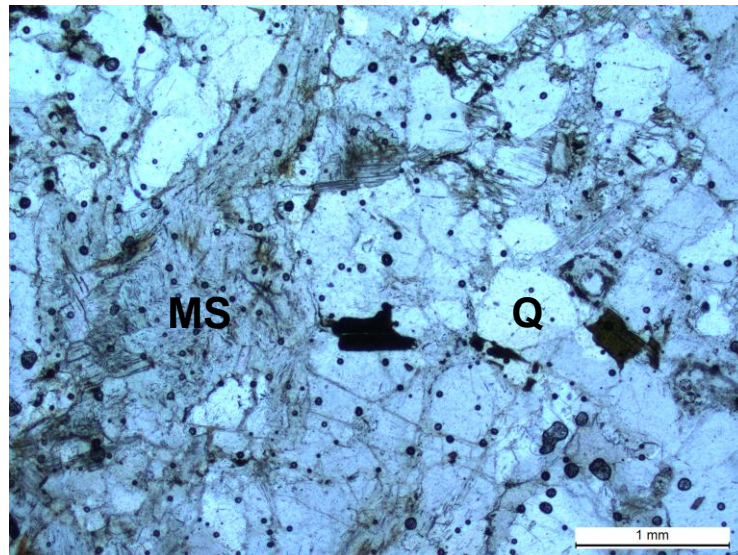


Figura 24: Fotomicrografía a Luz Polarizada Lineal (PPL) que muestra la abundancia de cuarzo (Q) y muscovita (MS).

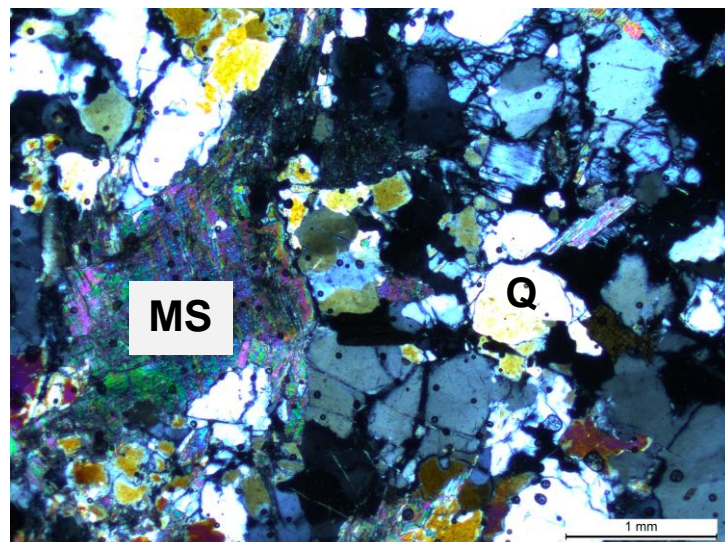


Figura 25: Fotomicrofotografía con Luz Polarizada Cruzada (CPL) que muestra la abundancia de cuarzo (Q) y muscovita (MS).



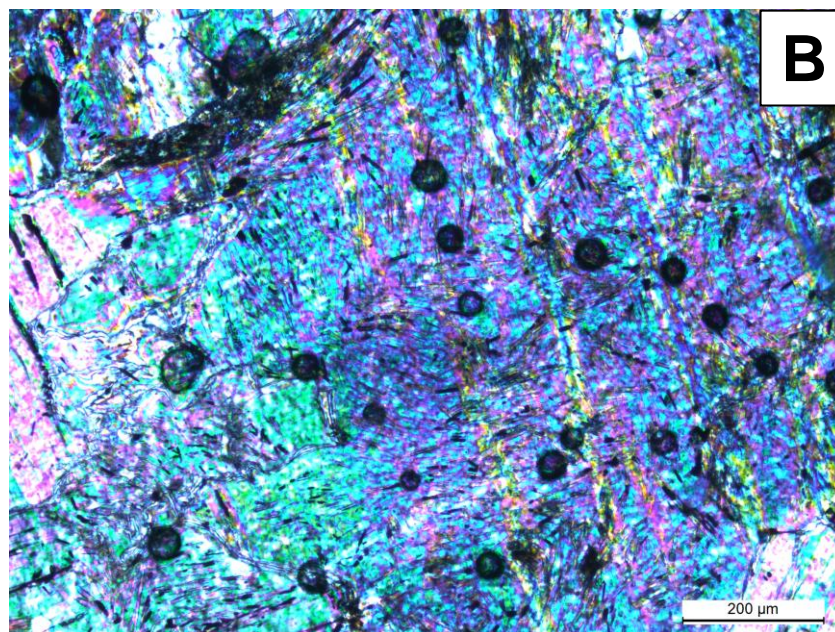
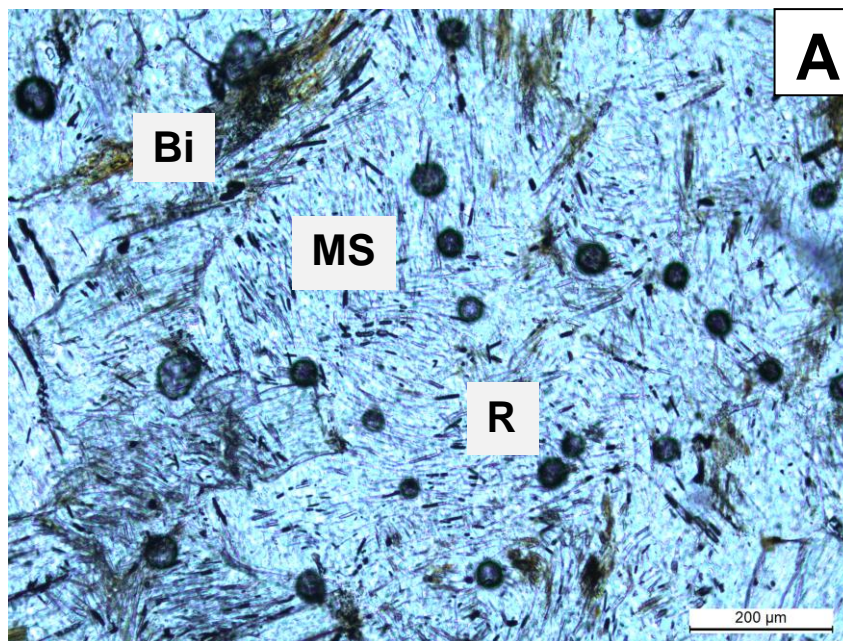


Figura 26: Fotomicrografía a PPL (A) y con CPL (B) que permite observar la presencia de biotita (Bi), muscovita (MS) rutilo (R).



Además existen filones pegmatíticos donde se encuentra cuarzo y feldespato de grano grueso, recortando las milonitas graníticas presentes en el lugar estudiado (Figura 27).



Figura 27: Detalle de una intrusión pegmatítica en el granito deformado.

En la zona más alta (70 metros) se observaron suelos profundos con mayor diferenciación de horizontes, encontrando en la zona del horizonte C-R un material limoso con alta presencia de gravilla, grava de cuarzo, feldespato y muscovita.

Cuadro 7: Bases (meq/100 gr de suelo) y análisis de granulometría del viñedo Canelones III.

Ca	Mg	K	Na	Suma de bases	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase textural	Muestra
12,6	2,8	0,53	0,16	16,09	24	38	38	Franco arcilloso	Suelo (primeros 20cm)

El suelo encontrado asociado al viñedo en estudio es moderadamente profundo, se caracteriza por presentar un horizonte A limoso, de color negro con abundante gravilla y con un espesor de 26cm, luego se encuentra un horizonte Bt de color negro con moteados naranjas, arcilloso con fragmentos de roca (con cuarzo y feldespato) y otros sólo de cuarzo, que va de los 26 – 61cm. Finalmente se constató por debajo de los 61cm un horizonte C de color negro con moteados naranja, arcilloso, con abundante gravilla. Estas características permiten inferir que se trata de un brunosol.

Además se pueden observar los resultados del análisis químico y granulométrico en el Cuadro 7, en el que se expresa claramente que posee el mismo contenido de limo y arcilla.

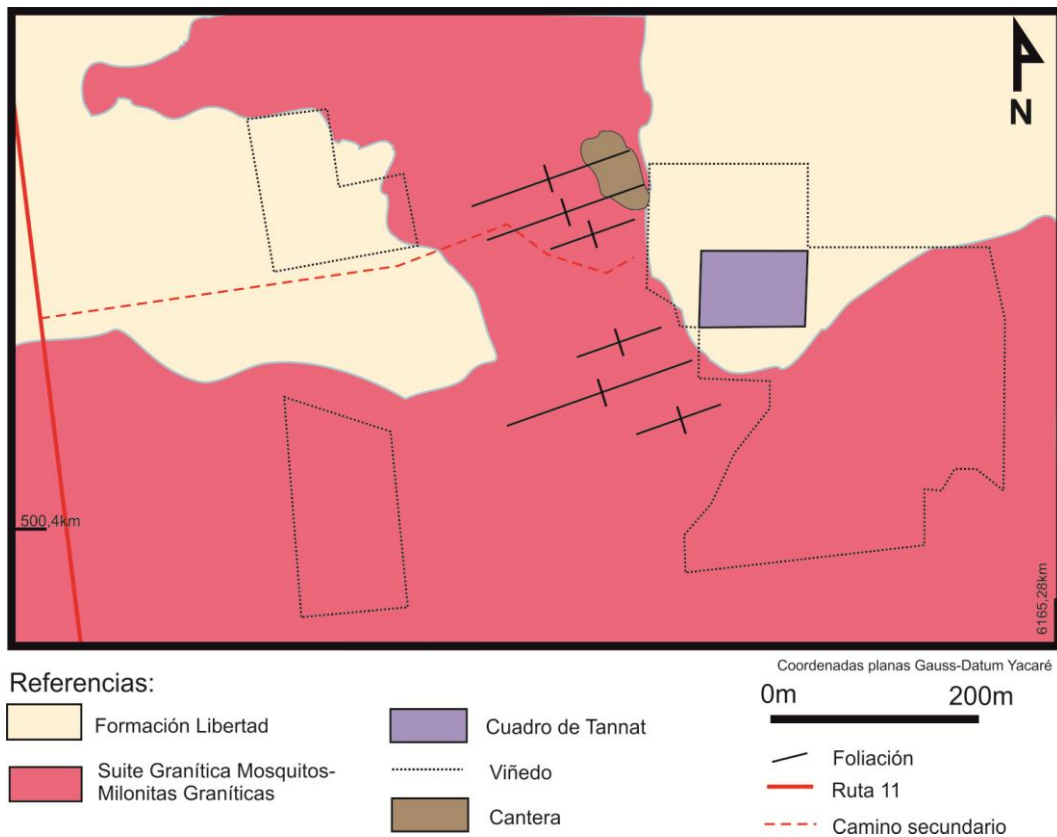


Figura 28: Carta geológica del viñedo Canelones III con la ubicación de la cantera y las estructuras geológicas presentes en los alrededores del cuadro estudiado.

#### Formación Libertad

Se determinó la presencia de un material arcillo-limoso de color pardo claro con nódulos de  $\text{CaCO}_3$ , que contiene grava y gravilla de cuarzo, feldspatos y muscovita, semejantes a la composición mineralógica de la Milonita Granítica que se encuentra por debajo del material limoso de escaso espesor.

## Suite Granítica Mosquitos- Milonitas Graníticas

Las milonitas graníticas presentan abundancia de muscovita con orientación variable, cuarzo recristalizado, feldespatos, biotita y rutilo (ver Figuras 24, 25 y 26).

#### **4.1.4. Viñedo Colonia**

Este cuadro se localiza al oeste de la Ruta 21 y al norte de la ciudad de Colonia del Sacramento (Cpx: 311.25 – Cpy: 6193.62 – z: 37m).

El viñedo no presenta afloramientos en superficie en las filas o entrefilas (Figura 29).



Figura 29: Lugar de la perforación en el viñedo estudiado asociado a la entre fila, mostrando las dos filas implicadas en la parcela y el relieve es plano con una leve pendiente.

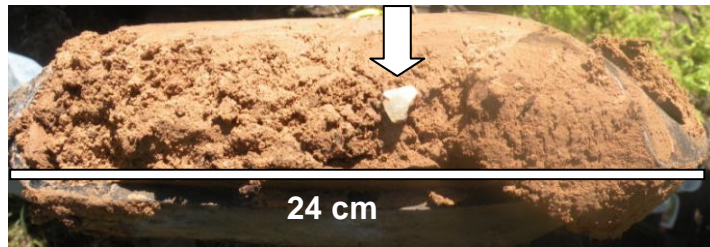


Figura 30: Fotografía mostrando el material limoso en el taladro Holandés. Obsérvese el clasto de cuarzo (flecha).

En el cateo realizado (2m) se encontró un material limoso de color pardo con gravilla de 1 a 2mm en todo el perfil y más de 3mm en algunos niveles; también se encontró un fragmento de cuarzo de aproximadamente 1cm dentro del mismo (Figura 30). En todo el perfil no se observó reacción al ácido clorhídrico (HCl) confirmando que no hay presencia de carbonato.

El material madre de este viñedo consta de una unidad limosa, con similar contenido de limo y arcilla, y >20% de arena (Cuadro 8), definido como Formación Libertad, que puede ser producto de alteración de las rocas ricas en minerales máficos asociadas a los granitos presentes en Piedra de los Indios. Probablemente corresponde a la Unidad la Carolina definida por Bossi & Ortíz (2007).



Cuadro 8: Bases (meq/100gr de suelo) y análisis de granulometría para el viñedo Colonia

Ca	Mg	K	Na	Suma de bases	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase textural	Muestra
11,8	2,3	1,1	0,09	15,29	33	34	33	franco arcilloso	Suelo (primeros 20cm)
14,7	6,2	1,1	0,48	22,48	24	30	46	arcilloso	Limo

Se cartografió la unidad vinculada al viñedo y la zona circundante (Figura 31).

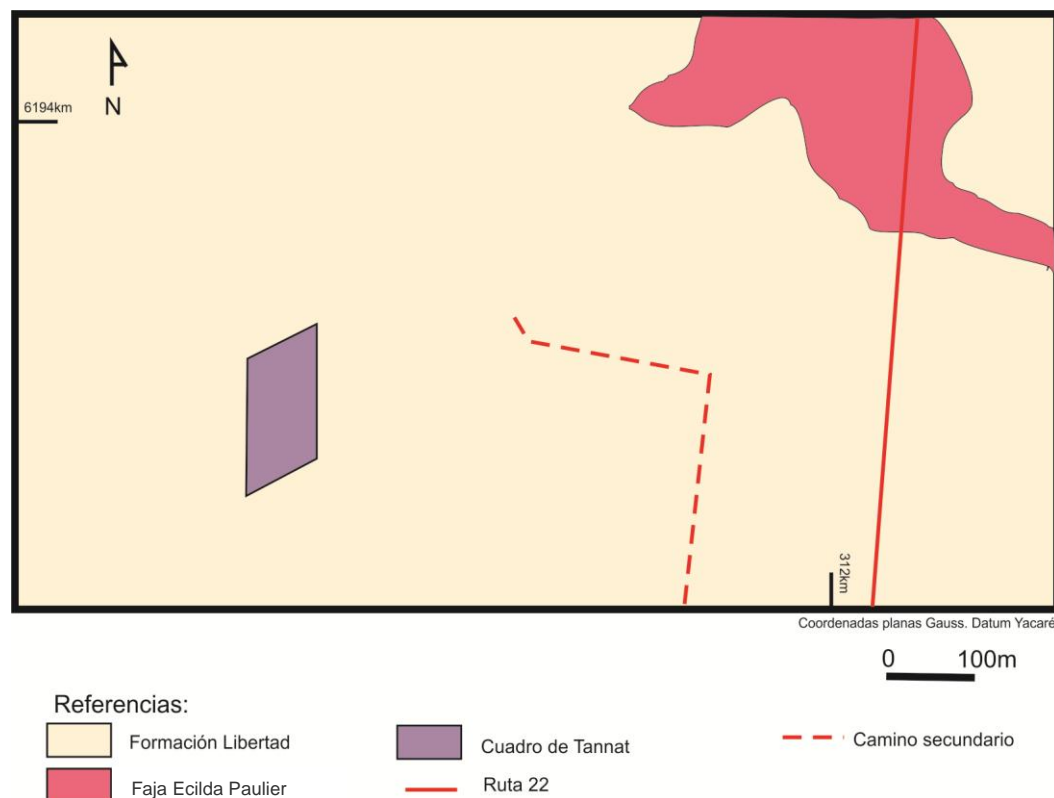


Figura 31: Carta geológica del viñedo Colonia

#### **4.1.5. Viñedo Maldonado**

Viñedo ubicado al sureste de la intersección de la Ruta 9 y la Ruta 12.

Se observaron, describieron y analizaron muestras de distintos puntos dentro del viñedo.

Se trata de una zona en la que existen bandas miloníticas de la zona de Cizalla de Sierra Ballena que poseen ancho variable, en algunas predominan los minerales félsicos y otras en las que se observa mayor abundancia de minerales máficos (Figura 32).



Figura 32: Imagen de la cantera ubicada frente a la bodega, apreciando claramente el bandeo característico de las rocas.



En ambas bandas se observa la foliación a través de la disposición de los minerales (Figura 33), ocurren bandas donde predomina los minerales ferromagnesianos y otras donde se encuentra en mayor proporción cuarzo y feldespatos.



Figura 33: Detalle de las bandas con rumbo N40E, verticales (estos datos fueron medidos en la banda que está junto a la piqueta).



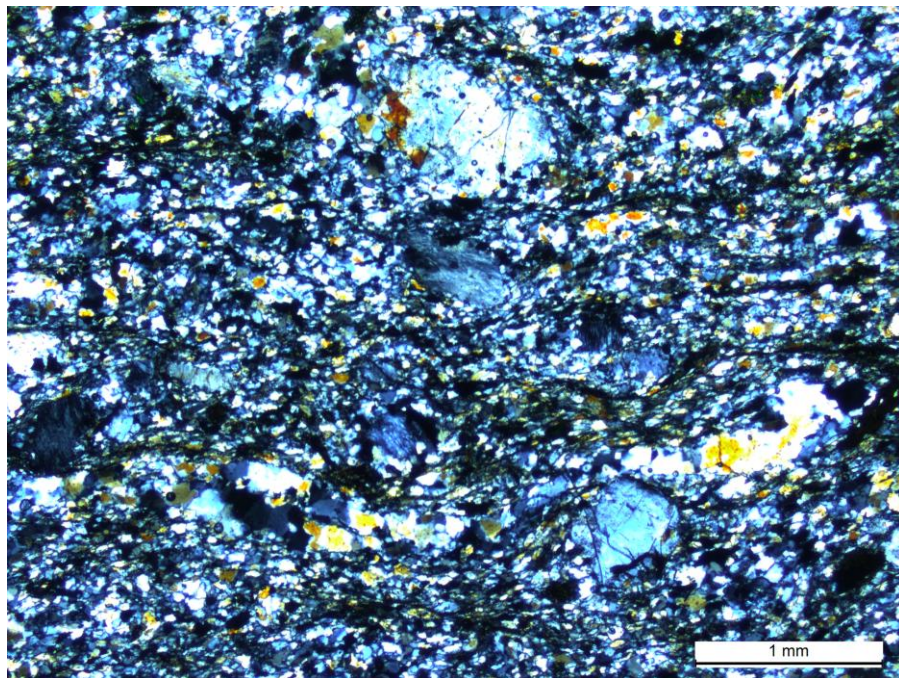
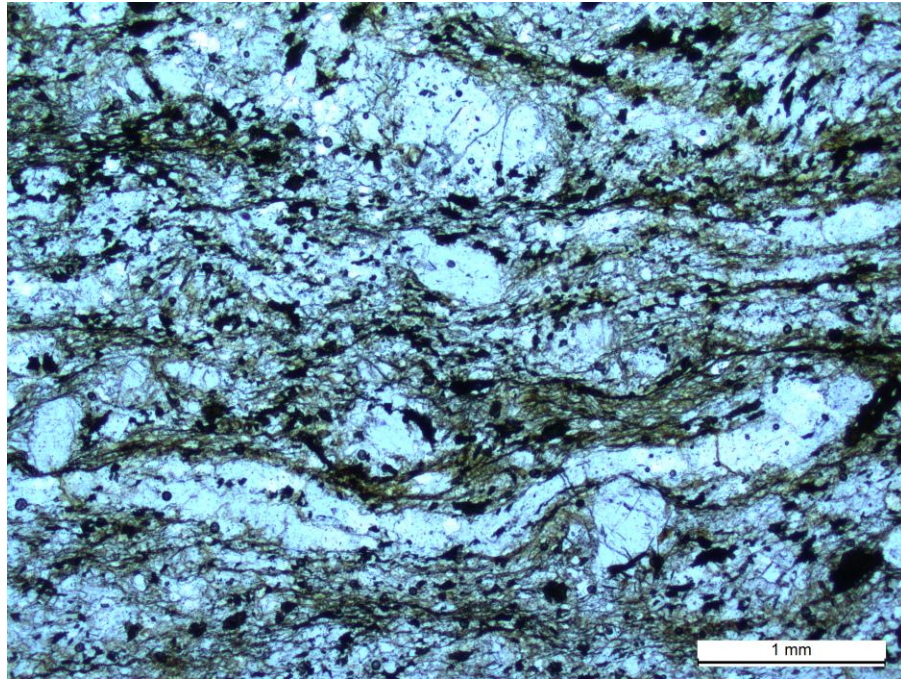


Figura 34: Fotomicrografía que muestran bandas mal definidas características de las milonitas (PPL y CPL).

Estas rocas se definen como milonitas y al microscopio se observó cuarzo con variación de tamaño de cristales predominando los de menor tamaño que se encuentran en la matriz, irregular y levemente orientado completamente recristalizado.

Se observan feldespatos (microclina y ortosa) de mayor tamaño que el cuarzo, algunos orientados claramente y otros sin evidencias de deformación dúctil. Existen indicadores cinemáticos en la microclina, aproximándose a un indicando sigma de movimiento sinestral (ver Figura 36). En menor proporción se encontró plagioclasa, así como biotita alineada en los bordes de los feldespatos y en algunas bandas mal definidas de poco espesor y diseminada.

También aparecen anfíboles y epidoto. En otras muestras se reconoció cuarzo recristalizado y feldespato de mayor tamaño, deformado. Estos materiales se asocian por lo tanto a las milonitas graníticas descritas por Oyhançabal (2005), quien identificó cuatro tipos de milonitas en la Zona de Cizalla de Sierra Ballena: milonitas graníticas, filomilonitas, cuarzo- milonitas y milonitas porfíricas.



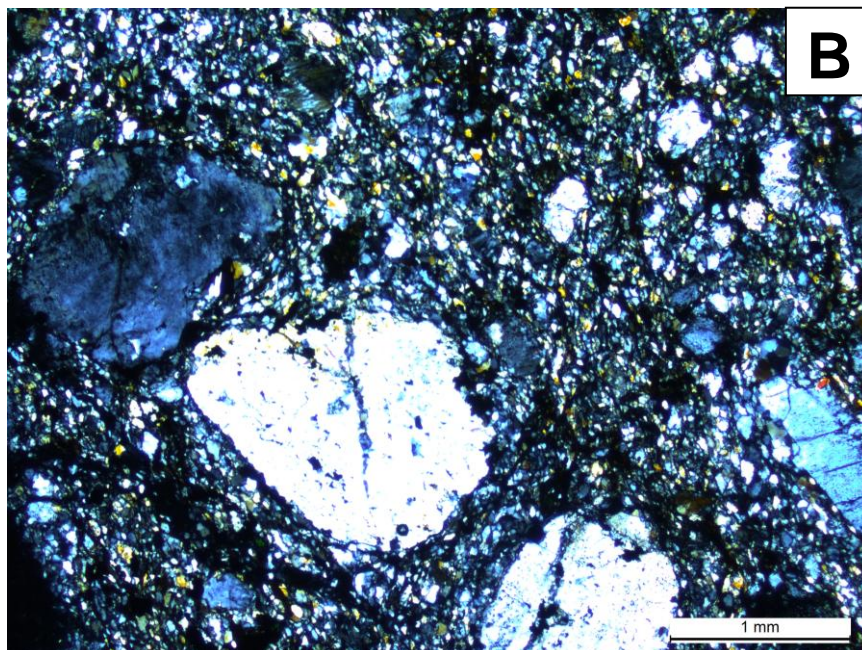
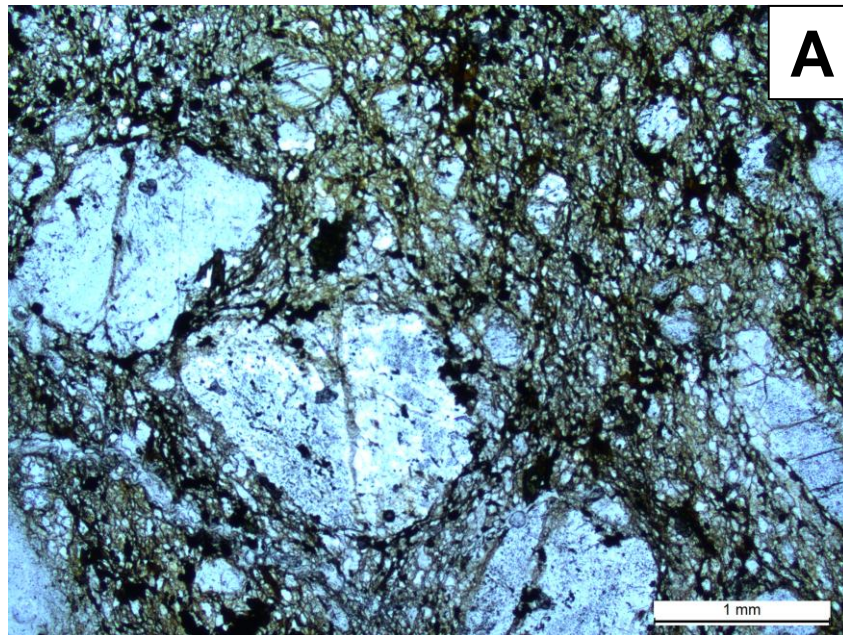


Figura 35: Fotomicrografías con PPL (A) y CPL (B) de milonitas, que muestran los feldespatos potásicos (reconociéndose claramente microclina en la Figura C) de mayor tamaño que el cuarzo que aparece en varios tamaños.

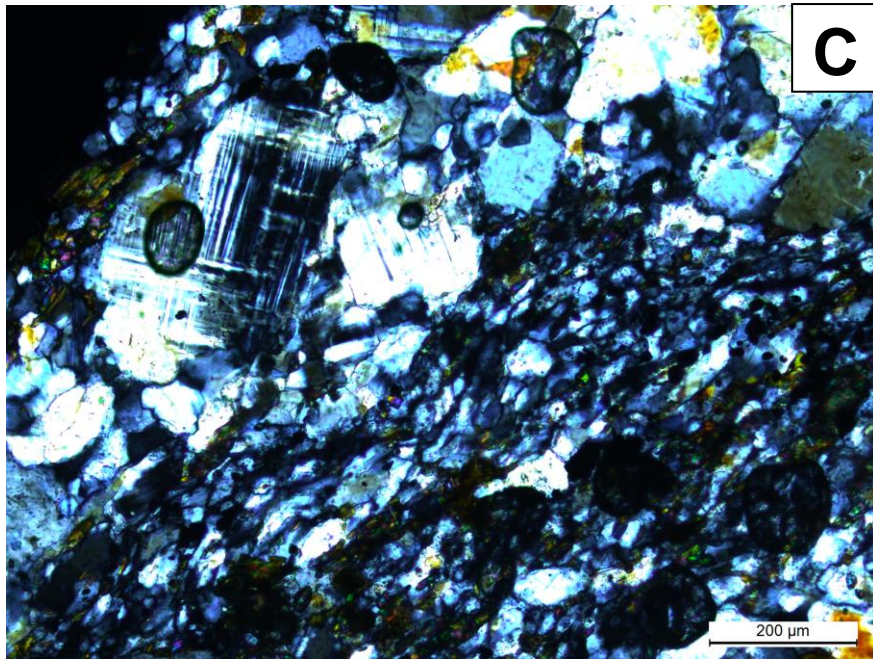


Figura 35: Fotomicrografía CPL (continuación).



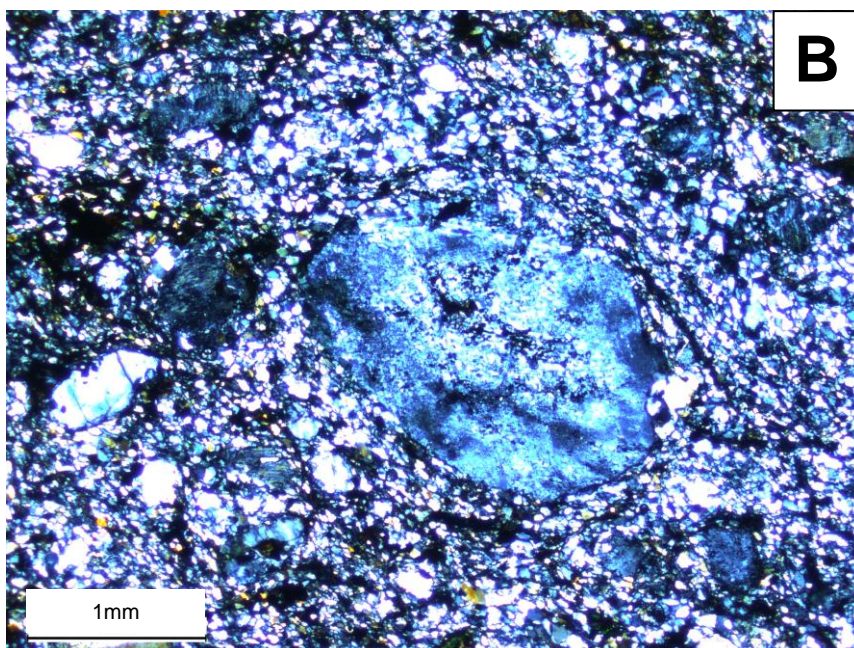
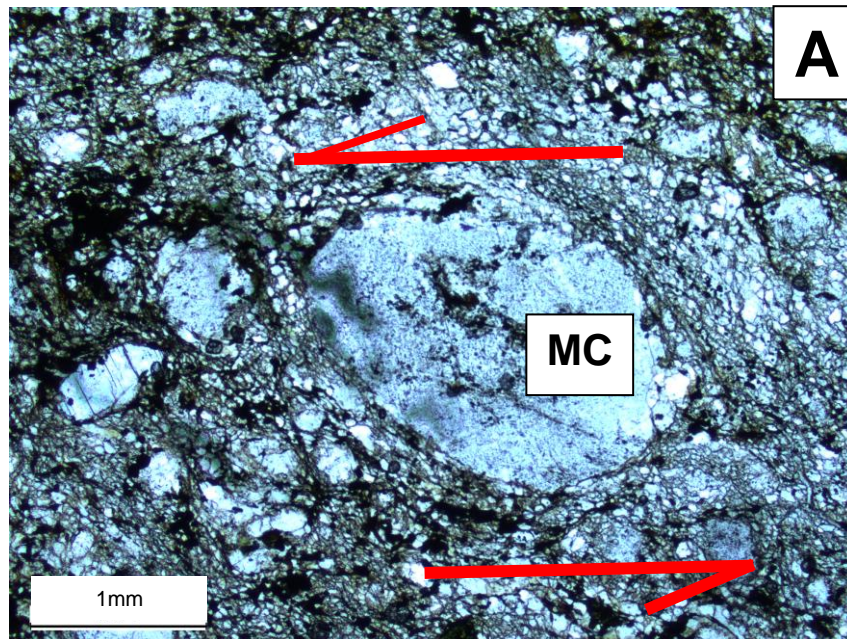


Figura 36: Fotomicrografías con PPL (A y C) y CPL (B y D) donde se ven indicadores cinemáticos sigma en la microclina (MC), percibiéndose un movimiento sinistral.



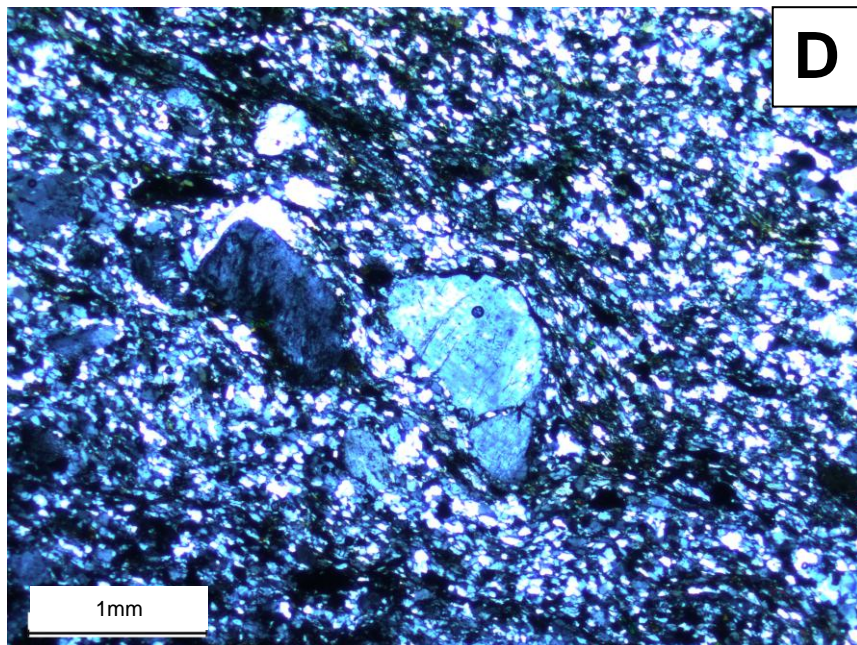
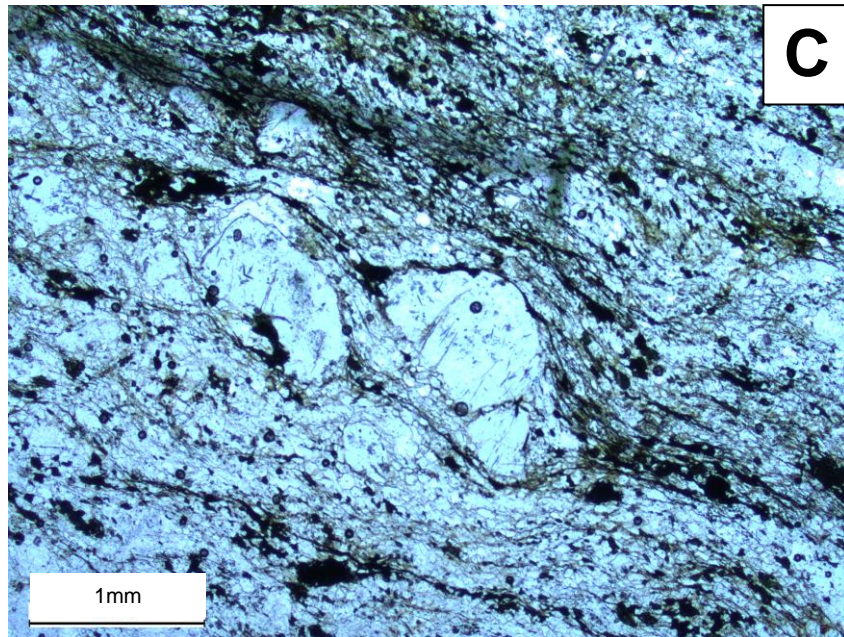


Figura 36: (continuación).

Las bandas miloníticas son recortadas por filones que contienen cuarzo y feldespato visible a simple vista y filones con los mismos minerales pero de menor tamaño.

En la Figura 37 se puede ver un filón de cuarzo que acompaña el rumbo general de las milonitas como también lo recorta en otras exposiciones.



Figura 37: Acercamiento a un filón de cuarzo.





Figura 38: Afloramiento de la unidad geológica Milonitas Graníticas, ubicado al este del cuadro de estudio.

Se puede apreciar en la Figura 38 que existen diferencias en cuanto a tamaño de los minerales (a la izquierda más fino y a la derecha más grueso) y esto fue corroborado en la lámina delgada (Figura 39) donde se observan los mismos componentes de menor tamaño (cuarzo y feldespatos), con la presencia de bandas finas y más gruesas que se intercalan sucesivamente, presentando intensa recristalización.

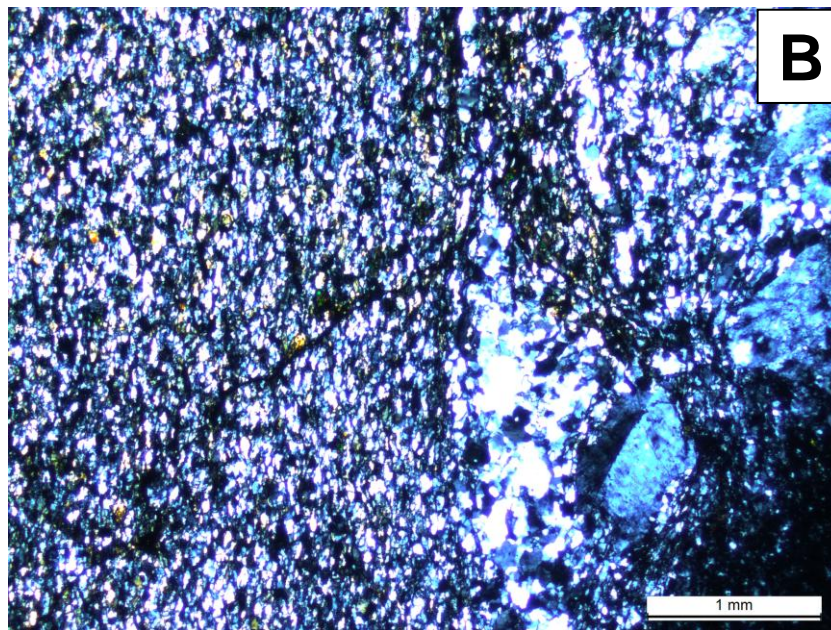
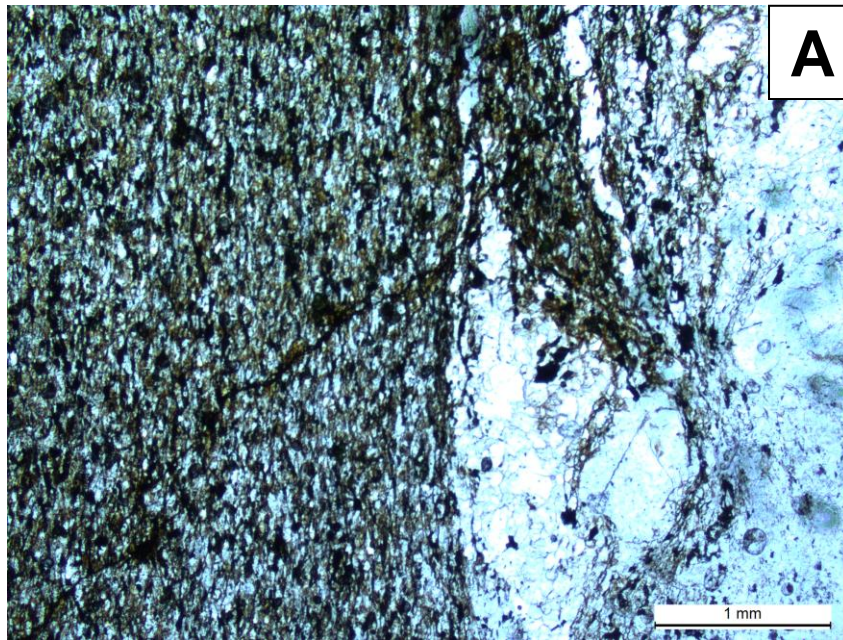


Figura 39: Fotomicrografía del filón que se observa en la figura 38, en A se observa a PPL y en B con CPL.

Se observaron mirmequitas en láminas delgadas (Figura 40) que frecuentemente se asocian con la deformación de granitos, donde se



desarrollan preferencialmente en los lados del feldespato potásico que se ubica en la dirección de mayor acortamiento (López & Bellos, 2006).

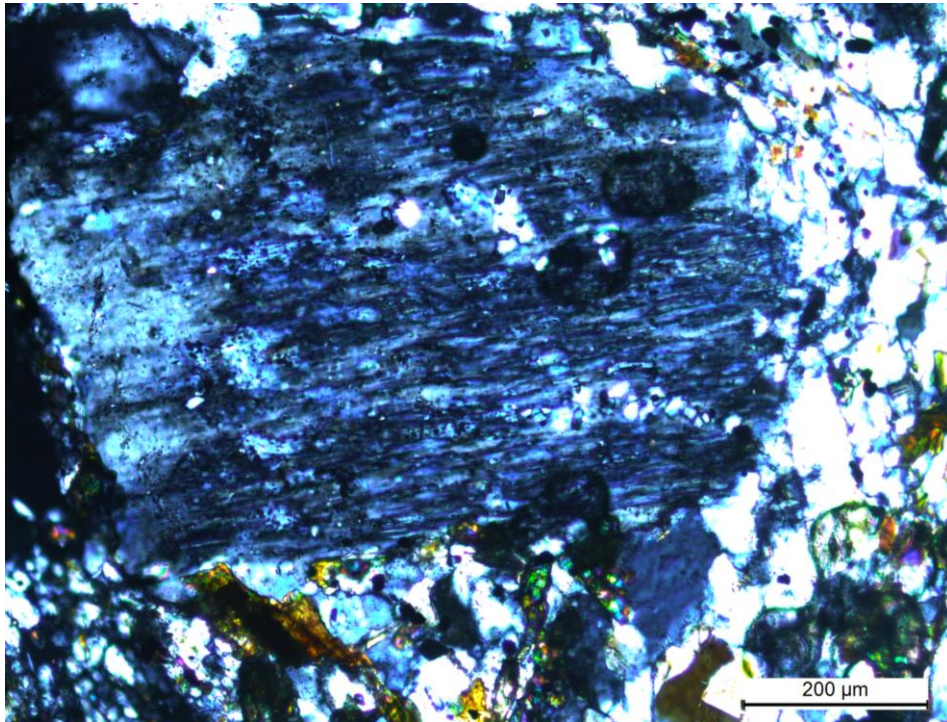


Figura 40: Fotomicrografía que muestra mirmequitas, CPL en milonitas graníticas.

Además se observó la presencia del anfíbol denominado riebeckita (Figura 41).

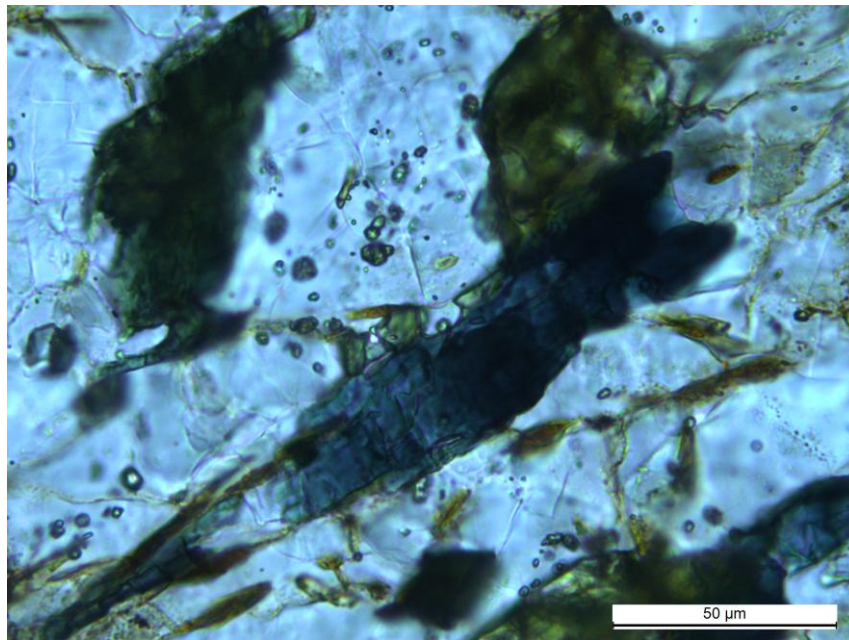


Figura 41: Fotomicrografía de riebeckita con su típico color azul, CPL.



Figura 42: Imagen de micropliegues en milonitas.

También se observan micropliegues como se ven en la Figura 42.

Toda la superficie del viñedo al norte de la bodega se encuentra sobre milonitas de la zona de Cizalla Sierra Ballena (Figura 43) que presenta un claro rumbo noreste en toda su extensión.



Figura 43: Vista desde la zona más alta ubicada al Este del viñedo, apreciándose la Sierra de los Caracoles, presentando una asociación geomorfológica entre ambos lugares.

A su vez el bandeado con diferente concentración de minerales que se alteran diferencialmente, genera una gran variabilidad en la formación de suelos y en la aparición de afloramientos dentro del viñedo (Figura 44).

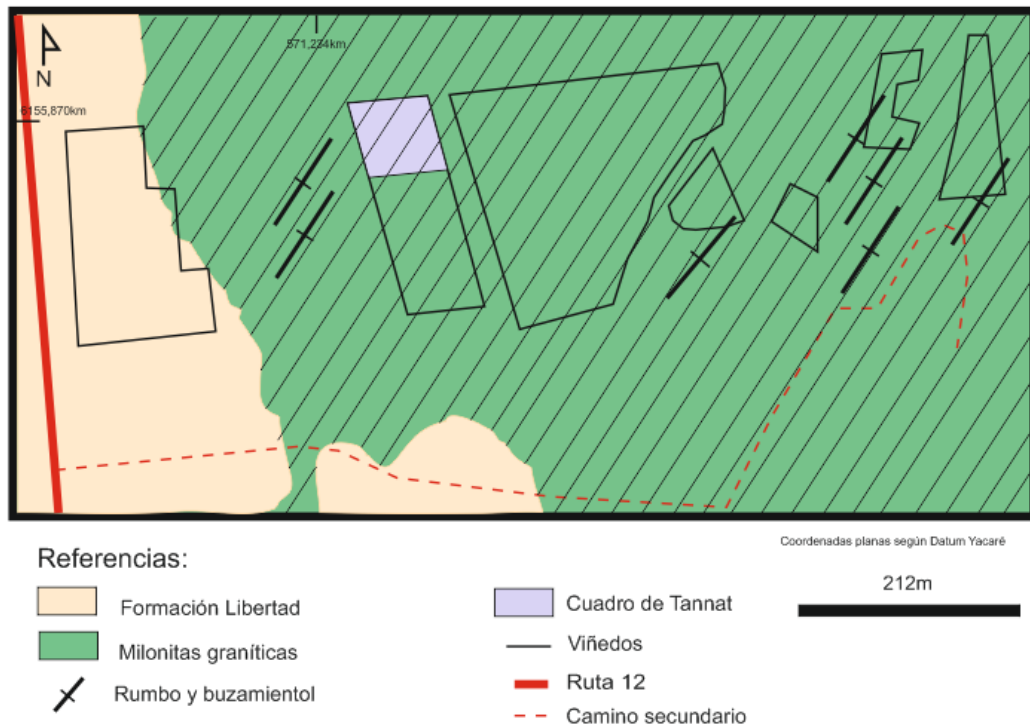


Figura 44: Carta geológica del viñedo ubicado en Maldonado.

El suelo se caracteriza por ser superficial, comienza por un horizonte a de 23cm de color pardo, arcilloso con abundante gravilla y fragmentos de milonitas. Luego aparece un horizonte B de color negro, arcilloso con gravilla y fragmentos de milonitas que va de los 23 a los 54cm de profundidad. A partir de los 54cm el color es pardo, con abundante gravilla y fragmentos de milonitas, material madre del suelo y clasificado como brunosol. A su vez ve en el cuadro 9 el alto porcentaje de limo y arena, como el porcentaje < 30 de arcilla.



Cuadro 9: Bases (meq/100gr de suelo) y análisis de granulometría  
Maldonado

Ca	Mg	K	Na	Suma de bases	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase textural	Muestra
11,1	3,2	1	0,15	15,45	33	39	28	Franco arcilloso	Suelo (primeros 20cm)

## 4.2. Geoquímica elemental

### 4.2.1. Elementos mayores, menores y traza

Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 10.

Cuadro 10: Datos de los elementos analizados en muestras de roca y en muestras de vino Tannat (columnas sombreadas).

Muestra	roca							
Elemento	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (T) %	MnO	MgO	CaO	Ti	Na <sub>2</sub> O
Unidad del símbolo	%	%		%	%	%	ppm	%
Límite de detección	0,01	0,01	0,01	0,001	0,01	0,01	0,1	0,01
Método de análisis	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP
Maldonado	65,47	11,41	5,65	0,06	1,73	2,4	0,9	3,05
Canelones III	84,37	7,35	1,57	0,015	0,88	1,15	0,2	0,16
Canelones I	57,38	12,19	4,96	0,129	3,73	4,67	0,4	1,45
Colonia	63,11	12,09	4,81	0,079	2,25	3	0,5	1,39
Canelones II	60,05	11,61	4,1	0,088	2,97	4,54	0,4	1,57

Muestra	roca						vino	
Símbolo analizado	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Total	Bi	Mn	Ti
Unidad del símbolo	%	%	%	%	%	ppm	ppm/10	ppm/10
Límite de detección	0,01	0,001	0,01		0,01	0,4		
Método de análisis	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-ICP
Maldonado	5,85	0,442	0,1	4,61	100,8	Menor a 0,4	0,03	0,00
Canelones III	2,21	0,111	0,02	3,12	101	Menor a 0,4	0,03	0,00
Canelones I	1,36	0,744	0,05	12,51	99,18	Menor a 0,4	0,02	0,00
Colonia	1,78	0,822	0,05	11,34	100,7	Menor a 0,4	0,05	0,00
Canelones II	1,41	0,782	0,04	13,14	100,3	Menor a 0,4	0,03	0,00



Muestra	vino	roca	Vino	roca	vino	roca	vino	roca
Símbolo analizado	Sc	Sc	V	V	Cr	Cr	Co	Co
Unidad del símbolo	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm
Límite de detección		1		5		20		1
Método de análisis	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS
Maldonado	3,72	5	100,70	7	21,32	70	0,85	2
Canelones III	2,38	3	59,86	15	10,79	40	0,29	4
Canelones I	2,32	11	65,78	76	16,13	60	0,21	13
Colonia	2,16	10	109,30	73	19,12	50	0,80	10
Canelones II	3,78	9	91,54	71	18,78	60	0,75	10

Muestra	vino	roca	vino	roca	vino	roca	Vino	roca
Símbolo analizado	Cu	Cu	Zn	Zn	Ga	Ga	Rb	Rb
Unidad del símbolo	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm
Límite de detección		10		30		1		2
Método de análisis	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS
Maldonado	51,09	90	301,80	120	0,32	29	622,30	182
Canelones III	35,20	70	190,11	< 30	0,31	9	872,09	73
Canelones I	242,71	290	327,90	60	0,25	15	941,44	68
Colonia	66,65	40	711,63	70	0,57	15	1.131,18	82
Canelones II	104,80	60	275,79	60	0,38	14	972,17	65

Muestra	vino	roca	vino	roca	vino	roca	Vino	roca
Símbolo analizado	Sr	Sr	Y	Y	Zr	Zr	Nb	Nb
Unidad del símbolo	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm
Límite de detección		2		2		4		1
Método de análisis	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-MS
Maldonado	154,68	20	0,06	34	0,21	508	0,02	32
Canelones III	124,28	35	0,02	8	0,43	82	0,00	3
Canelones I	212,75	214	0,01	29	0,32	245	0,03	10
Colonia	387,95	177	0,11	25	0,18	464	0,02	9
Canelones II	333,51	210	0,03	22	0,33	370	0,01	9

Muestra	vino	roca	vino	roca	vino	roca	vino	roca
Símbolo analizado	<b>Cs</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Ba</b>	<b>La</b>	<b>La</b>	<b>Ce</b>	<b>Ce</b>
Unidad del símbolo	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm
Límite de detección		0,5		3		0,1		0,1
Método de análisis	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS
Maldonado	0,41	0,7	112,46	719	0,01	88,7	0,04	233
Canelones III	0,80	1,5	117,05	582	0,01	32,3	0,04	66,4
Canelones I	2,40	4,2	56,34	392	0,00	29	0,01	63,5
Colonia	0,43	5,1	83,79	427	0,02	28,2	0,07	56
Canelones II	0,37	3,9	52,47	392	0,00	25,9	0,02	57,2

Muestra	vino	roca	vino	roca	vino	roca	vino	roca
Símbolo analizado	<b>Pr</b>	<b>Pr</b>	<b>Nd</b>	<b>Nd</b>	<b>Sm</b>	<b>Sm</b>	<b>Eu</b>	<b>Eu</b>
Unidad del símbolo	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm
Límite de detección		0,05		0,1		0,1		0,05
Método de análisis	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS
Maldonado	0,00	21,5	0,02	71,9	0,01	11,5	0,01	1,01
Canelones III	0,00	7,23	0,01	25,5	0,00	4	0,00	0,77
Canelones I	0,00	7,34	0,01	28,4	0,00	5,9	0,00	1,29
Colonia	0,01	6,53	0,04	25	0,01	4,8	0,00	1,01
Canelones II	0,00	6,36	0,00	24	0,01	4,8	0,00	1,05

Muestra	vino	roca	vino	roca	vino	roca	vino	roca
Símbolo analizado	<b>Gd</b>	<b>Gd</b>	<b>Dy</b>	<b>Dy</b>	<b>Er</b>	<b>Er</b>	<b>Yb</b>	<b>Yb</b>
Unidad del símbolo	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm
Límite de detección		0,1		0,1		0,1		0,1
Método de análisis	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS
Maldonado	0,00	7,2	0,00	7	0,01	4,2	0,01	4,3
Canelones III	0,01	2,8	0,00	1,7	0,00	0,8	0,00	0,7
Canelones I	0,00	5	0,00	4,9	0,00	3	0,00	2,9
Colonia	0,01	4,3	0,01	4,2	0,01	2,6	0,02	2,6
Canelones II	0,00	4	0,01	4	0,00	2,5	0,01	2,6

Muestra	Vino	roca	vino	roca	vino	roca	vino	roca
Símbolo analizado	Hf	Hf	Ta	Ta	Pb	Pb	Th	Th
Unidad del símbolo	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm
Límite de detección		0,2		0,1		5		0,1
Método de análisis	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS
Maldonado	0,03	10,9	0,01	3,1	14,50	40	0,11	7,4
Canelones III	0,03	2	0,00	0,3	10,21	13	0,05	8
Canelones I	0,01	6,4	0,01	0,9	13,81	23	0,11	8,4
Colonia	0,01	11,5	0,20	1	22,49	14	0,08	9,3
Canelones II	0,03	9,3	0,00	0,9	11,82	17	0,04	8,6

Muestra	vino	roca	vino	roca	vino	roca	vino	roca
Símbolo analizado	Mo	Mo	Tb	Tb	Ho	Ho	Tm	Tm
Unidad del símbolo	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm
Límite de detección	98	2		0,1		0,1		0,05
Método de análisis	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS
Maldonado	0,51	9	0,00	1,1	0,00	1,4	0,00	0,66
Canelones III	0,43	< 2	0,00	0,3	0,00	0,3	0,00	0,12
Canelones I	0,25	2	0,00	0,8	0,00	1	0,00	0,46
Colonia	0,50	< 2	0,00	0,7	0,00	0,8	0,00	0,43
Canelones II	0,40	2	0,00	0,7	0,00	0,8	0,00	0,39

Muestra	vino	roca	vino	roca	vino	roca
Símbolo analizado	Lu	Lu	U	U	Ni	Ni
Unidad del símbolo	ppb	ppm	ppb	ppm	ppb	ppm
Límite de detección		0,04		0,1		20
Método de análisis	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-ICP	FUS-MS
Maldonado	0,00	0,64	0,00	2,6	19,77	< 20
Canelones III	0,00	0,11	0,00	1,6	17,14	< 20
Canelones I	0,00	0,44	0,00	1,9	17,64	30
Colonia	0,00	0,41	0,01	2,1	30,82	20
Canelones II	0,00	0,39	0,00	1,9	29,72	< 20

Muestra	roca							
Símbolo analizado	Be	Ge	As	Ag	In	Sn	Sb	W
Unidad del símbolo	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Límite de detección	1	1	5	0,5	0,2	1	0,5	1
Método de análisis	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS
Maldonado	6	2	< 5	1,3	< 0.2	4	< 0.5	1
Canelones III	< 1	1	< 5	< 0.5	< 0.2	2	< 0.5	3
Canelones I	2	1	6	0,7	< 0.2	2	0,9	2
Colonia	2	1	5	1,1	< 0.2	2	0,9	1
Canelones II	2	1	5	1	< 0.2	2	0,8	2

#### Referencias

FUS-ICP	Análisis por espectrofotometría de plasma acoplado inductivamente sobre perla de fusión disuelta
FUS-MS	Análisis por espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente sobre perla de fusión disuelta

Los valores de los elementos traza encontrados en las rocas son mayores que en el vino. A su vez se observan valores muy bajos en las tierras raras dentro de los vinos.

Los valores de los elementos: Cu, Pb y Zn están por debajo de los límites máximos aceptables en el vino según los requisitos actuales de la OIV.

La relación de Rb y Sr en las rocas separa claramente a los viñedos Maldonado y Canelones III del resto. Pero la misma relación en los vinos separa estos últimos mencionados de Colonia y Canelones III, dejando a Canelones I entre ambos subgrupos (ver Gráfico 5 y 6).

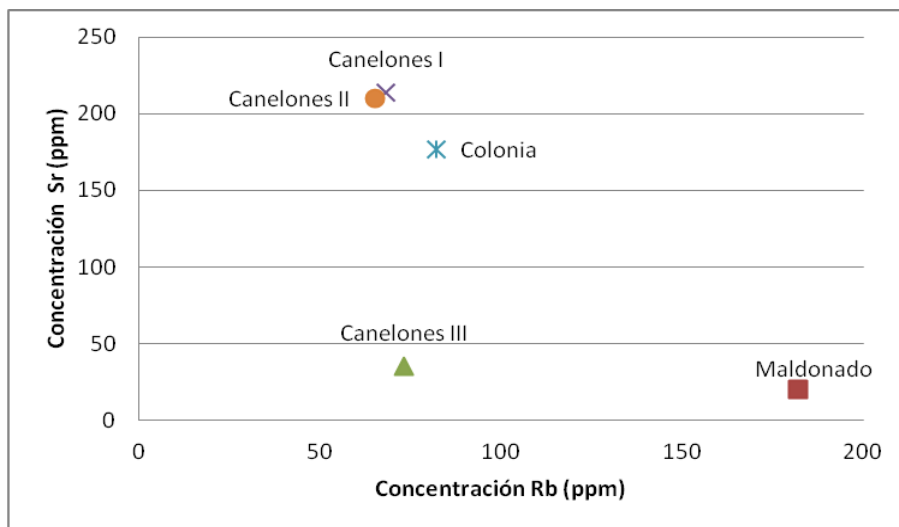


Gráfico 5: Contenido de Sr y Rb (ppm) en las rocas de los cinco viñedos.

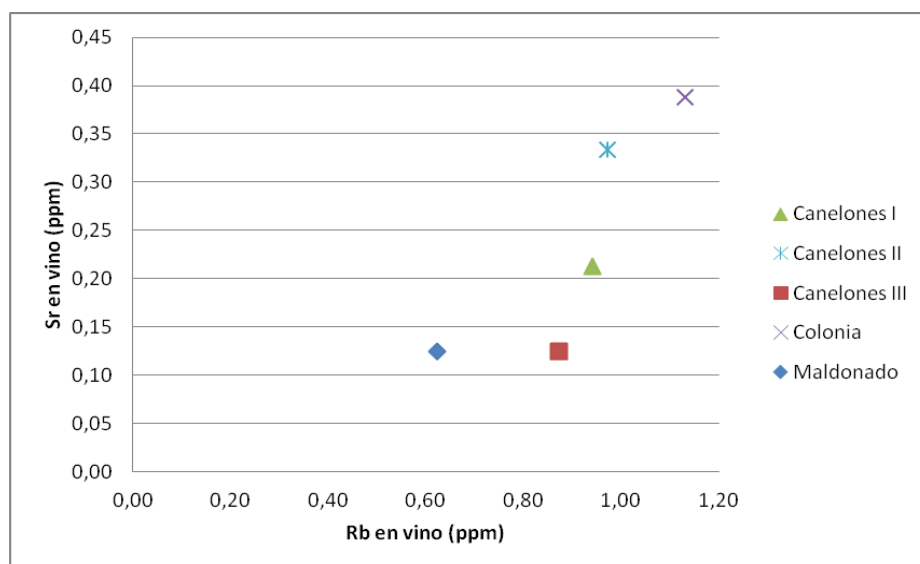


Gráfico 6: Contenido de Sr y Rb (ppm) en los vinos de los cinco viñedos.

Se separa claramente el viñedo de Maldonado frente al resto teniendo en cuenta la concentración de Rb en roca y vino (Gráfico 7).

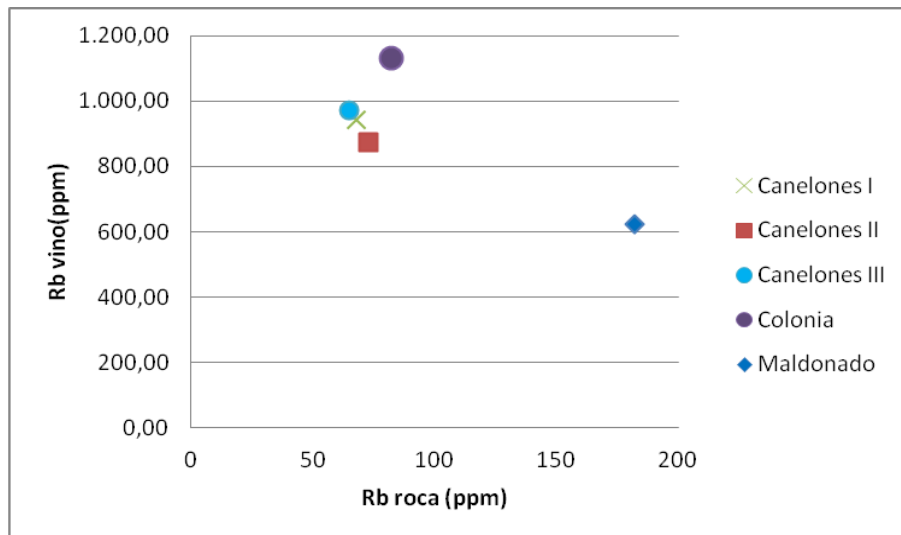


Gráfico 7: Contenido en ppm de Rb en roca y vino para los cinco viñedos.

La concentración de Sr en los vinos discrimina claramente los viñedos sobre milonitas de los viñedos sobre limos (ver Gráfico 8).

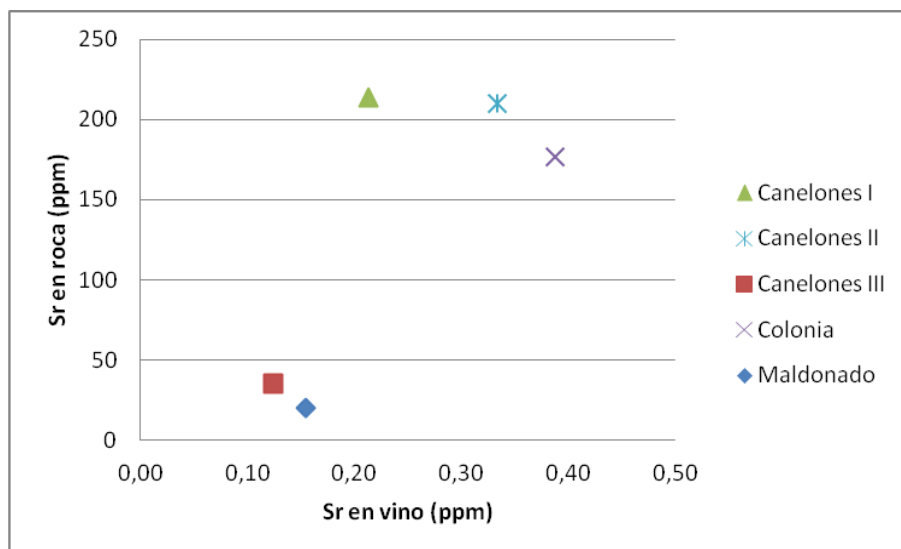


Gráfico 8: Contenido en ppm de Sr en roca y vino para los cinco viñedos.

#### 4.2.2. Normalización de las Tierras Raras con PAAS

En el Gráfico 9 se observa en forma general un aumento desde las tierras raras livianas hacia las pesadas en las muestras de vino. En el viñedo de Colonia se aprecia claramente el enriquecimiento en tierras raras pesadas frente a las livianas, pero en otros viñedos (Canelones I y II) el comportamiento es variable para las distintas tierras raras, se acercan en varios elementos pero se separan claramente en algunas tierras raras. Maldonado y Canelones III son similares en la mayoría de las tierras raras, excepto en Dy, Er y Tm.

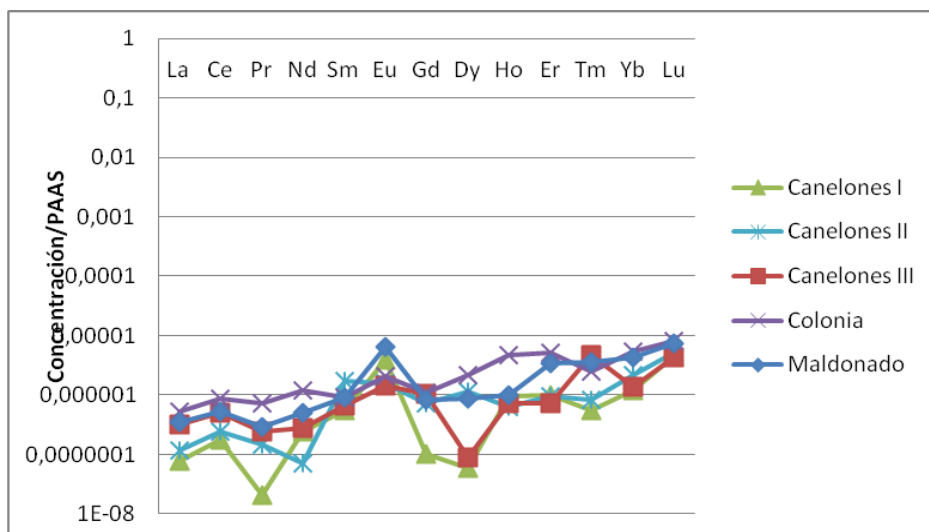


Gráfico 9: Normalización del contenido de tierras raras en vino con el estándar PAAS, según Nance y Taylor (1976).

En la normalización de los valores de las rocas con respecto a las tierras raras de PAAS, se apreció una clara anomalía negativa de Eu en el viñedo de Maldonado y enriquecimiento en tierras raras livianas. Canelones I, II y Colonia presentan concentraciones de Tierras Raras similares entre sí. Canelones III comparte los valores de La a Eu pero presenta bajos valores de tierras raras pesadas (Gráfico 10). Es esperable que los viñedos Canelones I y II como Colonia manifiesten una tendencia sobre el eje ya que se está normalizando con un estándar que corresponde a rocas sedimentarias al igual que las muestras analizadas.

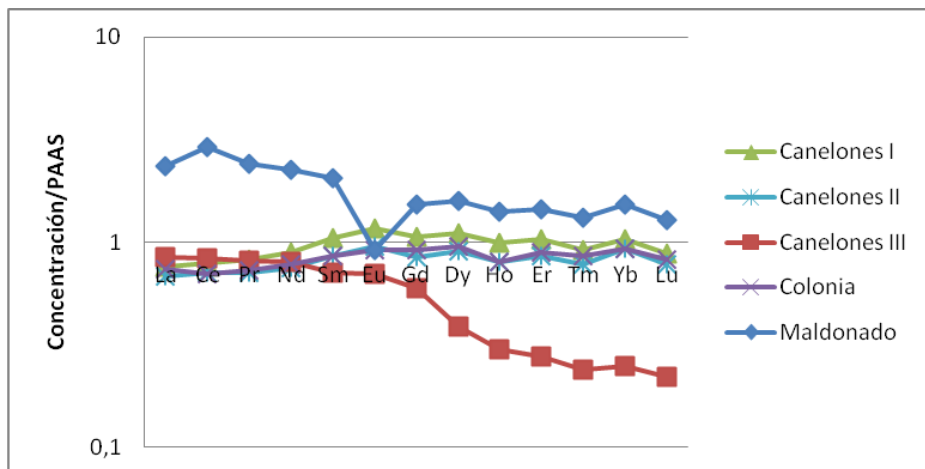


Gráfico 10: Normalización del contenido de tierras raras en roca con el estándar PAAS.



#### 4.2.3. Normalización de Tierras Raras con Condrita

Se puede observar en el Gráfico 11 un enriquecimiento en tierras raras livianas, en las muestras de roca, con respecto a las pesadas para los cinco sitios de estudio y en forma destacable el viñedo de Maldonado.

Además dicho viñedo que posee como material parental milonitas asociadas a la Zona de Cizalla de Sierra Ballena, presenta una marcada anomalía negativa de Eu. Esta anomalía se produce según Rollinson (1993) cuando hay un orden de magnitud en la diferencia de los coeficientes de reparto para el Eu debido a que el  $\text{Eu}^{2+}$  se presenta en condiciones de baja actividad de oxígeno, mientras  $\text{Eu}^{3+}$  está en condiciones de alta actividad de oxígeno. Ambos tienen diferentes coeficientes de reparto entre la plagioclasa y el fundido ( $\text{Eu}^{2+}$  es mucho más compatible que  $\text{Eu}^{3+}$ ).

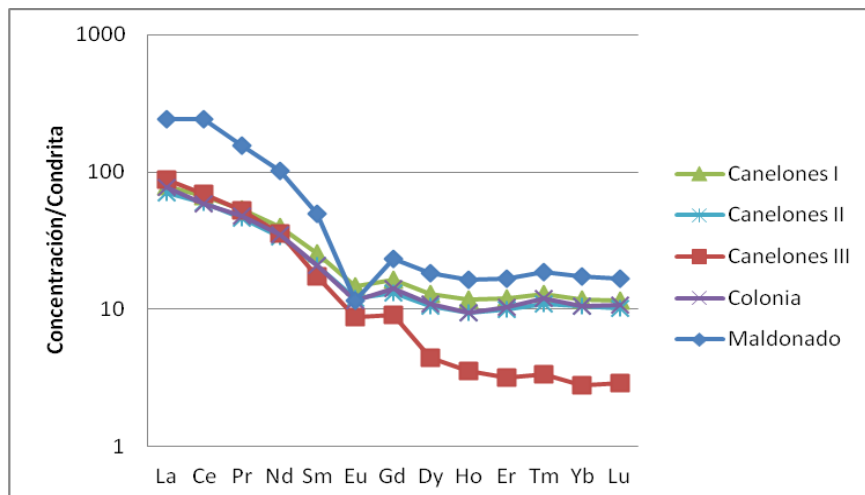


Grafico 11: Normalización del contenido de tierras raras en roca con el estándar Condrita obtenido de Taylor y McLennan (1985).

Continuando con la normalización de Tierras Raras en roca, Canelones I, II y Colonia presentan distribuciones muy similares entre sí, con enriquecimiento en tierras raras livianas y leve anomalía negativa de Eu o una leve anomalía positiva en Gd pero este estudio no permite discriminar entre uno u otro efecto. Fueron encontrados valores muy similares por Kemp et al. (2003) para loess del Pleistoceno de Argentina.

Además Canelones III presenta menores concentraciones de tierras raras pesadas en roca con respecto al resto de los viñedos.

A primera vista en el Gráfico 12 el comportamiento de las cinco muestras de vino no concuerdan en la tendencia de los gráficos, aunque en el caso del viñedo de Maldonado y Canelones III comparten muchos valores excepto claras diferencias en Dy, Er y Eu.

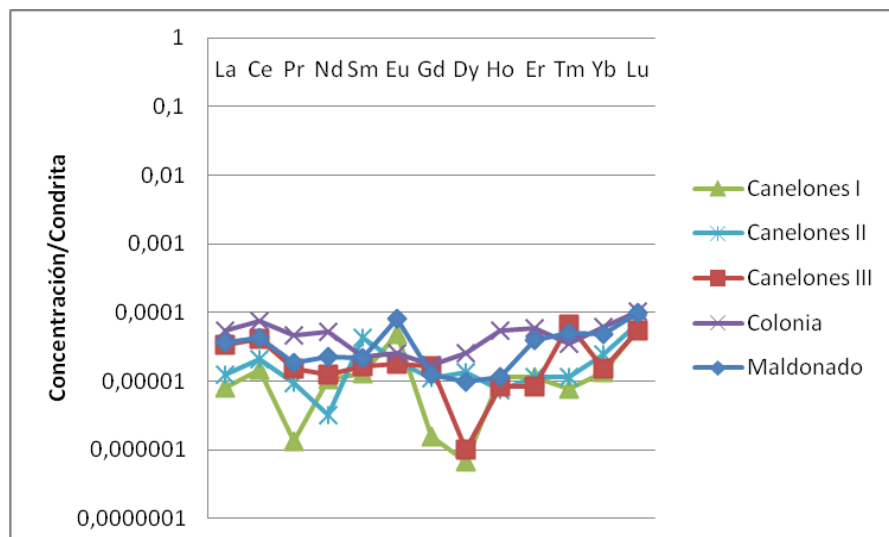


Gráfico 12: Normalización del contenido de tierras raras en vino con el estándar Condrita obtenido de Taylor y McLennan (1985).

Colonia se diferencia notablemente del comportamiento de los otros vinos (Canelones I y II).

En el viñedo Canelones I se observa el enriquecimiento en tierras raras livianas de la roca lo que no se corresponde con el comportamiento de las tierras raras en el vino, en éste último se observa anomalía negativa en Pr, Gd y Dy; y anomalía positiva en Eu y Lu.

En la roca madre del viñedo de Canelones II se observa una similar distribución de tierras raras que en la roca de Canelones I pero el vino no comparte dicha distribución. Sin embargo las muestras de vino comparten algunos elementos pero las anomalías se notan en otros elementos, anomalía negativa para Nd y positiva para Sm y Lu. El Lu es la única anomalía en común de las muestras de vino de Canelones I y II.

En el caso de Canelones III, la distribución de tierras raras en la roca muestra enriquecimiento en las tierras raras livianas al igual que Canelones I y II pero presenta una marcada deficiencia de tierras raras pesadas. El vino no se comporta de la misma forma y muestra mayor La y Ce como la roca pero luego los elementos se mantienen excepto la presencia de anomalía negativa en Dy y positivas en Tm y Lu. Esta última es compartida con el vino de Canelones I y II.

En el viñedo Colonia se puede ver que la roca muestra enriquecimiento en tierras raras livianas y que el vino también corresponde a ese comportamiento. Sin embargo las tierras raras

pesadas se enriquecen en el vino de Colonia con anomalía positiva en Lu como todos los vinos observados hasta este momento (Canelones I, II y III), y una leve anomalía negativa en Tm.

En el viñedo de Maldonado hay un marcado enriquecimiento en tierras raras livianas, mayor que en todos los otros viñedos. Sin embargo el vino no muestra dicho comportamiento, tiende a tener mayor concentración de tierras raras pero sobresale una anomalía de Eu y luego hay un incremento en las tierras raras pesadas, destacándose una leve anomalía de Lu como todos los viñedos estudiados.

Los cinco sitios presentan una distribución lineal tomando la relación  $La/Lu$  en las cinco muestras de vino vs  $La/Lu_N$  normalizado a Condrita (Gráfico 13), y algo similar ocurre para la relación  $La/Lu$  en roca (Gráfico 14) aunque se aleja claramente el viñedo Colonia. La relación lineal para estos elementos puede estar relacionada a otro factor, como puede ser la fertilización.

El Lu puede haberse enriquecido por causa de los fertilizantes. Las fosforitas y especialmente las del oeste de África que se usan en Uruguay, tienen contenidos anormalmente elevados de Lu (Emsbo et al., 2015). En este caso, el Lu no podría usarse para caracterizar las UTB, dado que hay una alta correlación entre las concentraciones en roca y vino.

En el Gráfico 14 se puede observar que el viñedo de Canelones III y Maldonado se separan notablemente en este diagrama. Sin embargo Canelones I, II y Colonia son valores cercanos.

Los vinos de los viñedos Canelones III y Maldonado presentan el mismo comportamiento que en la rocas. Canelones I y II se mantienen cercanos. El vino de Colonia se mantiene cercano a estos dos últimos mencionados pero la muestra de roca se aleja de las otras dos.

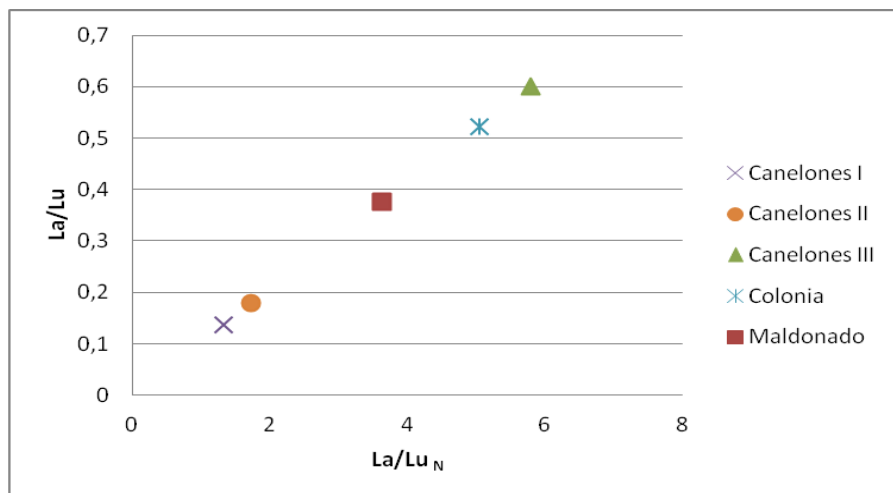


Gráfico 13: Relación La/ Lu en las cinco muestras de vino vs La/Lu<sub>N</sub> normalizado a Condrita (Wood, 1979).

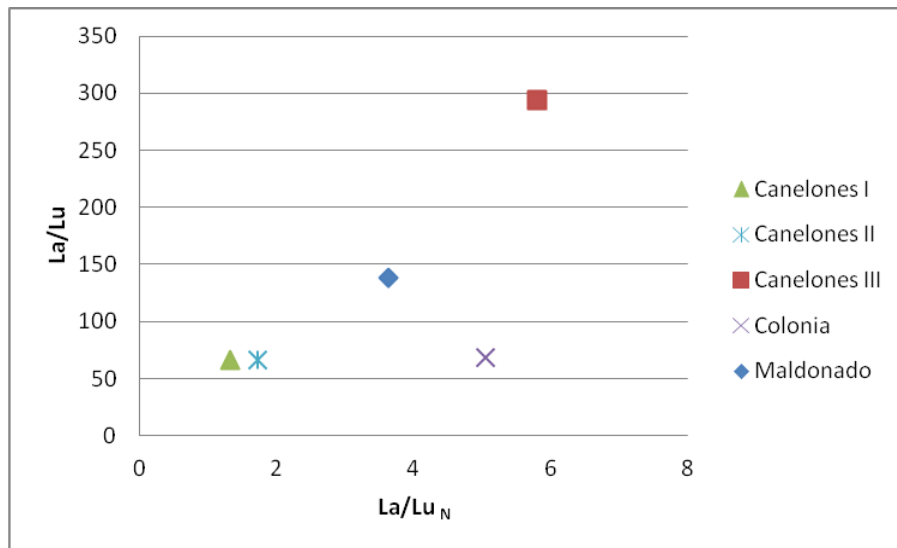


Gráfico 14: Relación La/ Lu en las cinco muestras de roca vs La/Lu<sub>N</sub> a Condrita (Wood 1979 en Rollinson ,1993).

La normalización de tierras raras de roca y vino no son el reflejo de un comportamiento concordante entre ellos teniendo en cuenta los resultados mostrados.

Lamentablemente no se pudo analizar dichos elementos en los suelos pero es de esperar que se comporten de forma similar a las rocas y en una posición intermedia entre la roca y el vino.

#### 4.2.4. Elementos incompatibles

En el Gráfico 15 se puede observar la disposición de los elementos incompatibles en un diagrama normalizado con valores de Condrita, donde todos presentan el mismo comportamiento, inclusive Canelones I, II y Colonia no difieren en todo el diagrama. Sin embargo Canelones III Y Maldonado muestran diferencias en Nb, La, Ce, Sr y Nd, mostrando una leve anomalía positiva en Ce y muy marcada anomalía negativa en Sr y más aún en Th.

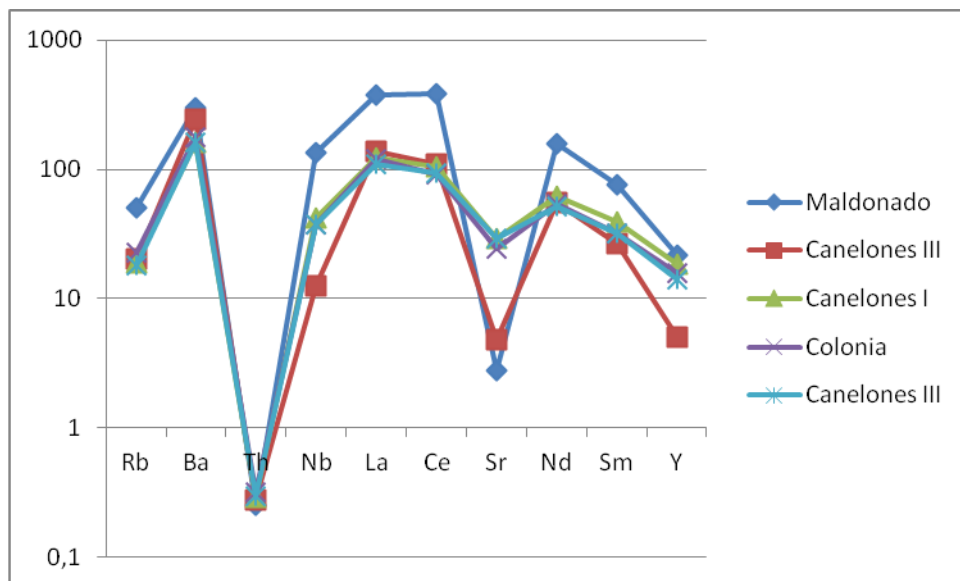


Gráfico 15: Normalización de elementos incompatibles en roca de los cinco viñedos con datos de Condrita según el estándar de McDonough & Sun (1995).

En cambio los elementos incompatibles en vino (Gráfico 16) poseen el mismo comportamiento para todos los elementos excepto Nb, La, Ce, Sr y Nd, los cuales varían pero no mostrando grandes diferencias. Es notable el enriquecimiento en la concentración de Rb, Ba y Sr, los cuales aumentan su concentración absoluta en el vino con respecto a la roca.

El viñedo de Maldonado posee mayores valores de Nb, La, Ce, Nd y Sm pero en Sr el valor es menor que los limos e igual que el viñedo de Canelones III.

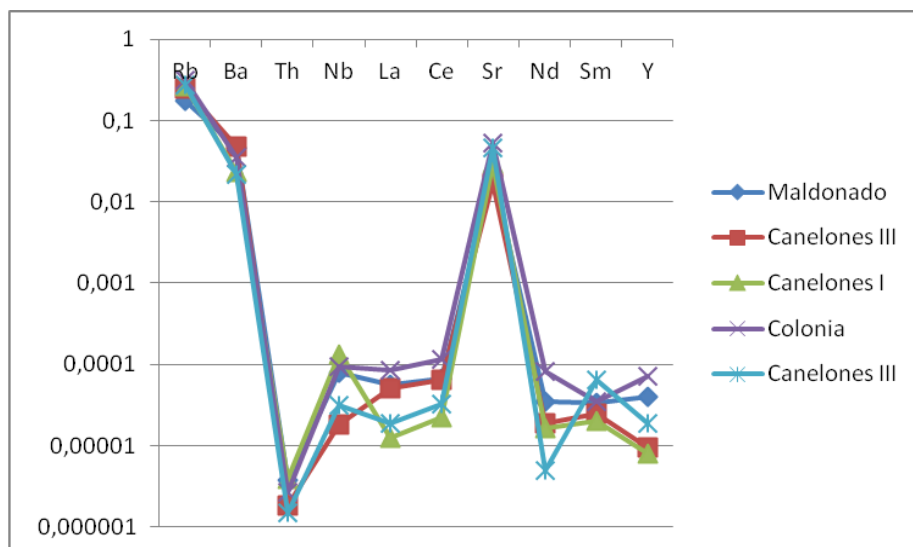


Gráfico 16: Normalización de elementos incompatibles en los vinos de los cinco viñedos con datos de Condrita McDonough & Sun (1995).



Los vinos se comportan diferente, sobre todo: Nb, La, Ce, Nd, Sm e Y. En el vino se da un pico hacia mayores valores de Sr y en roca ocurre lo contrario.

#### 4.2.5. Metales de transición

En el diagrama de los metales de transición se observa que el diagrama de las rocas y vinos son similares (Gráficos 17 y 18).

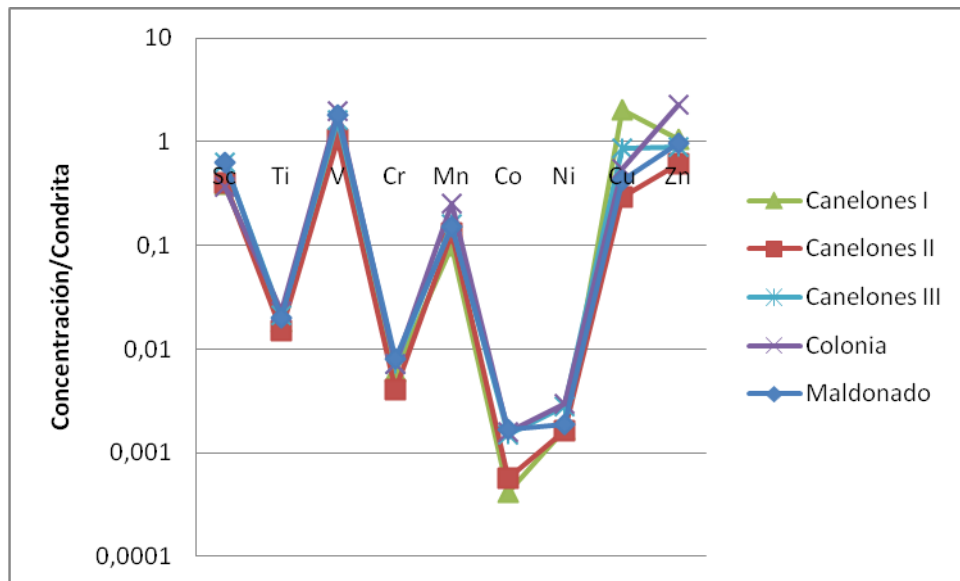


Gráfico 17: Normalización de los metales de transición en vino de los cinco viñedos con datos de Condrita (McDonough y Sun, 1995).

Las muestras de vino se separan en los elementos: Co, Cu y Zn.

El titanio da muy bajo en los vinos, esto se da ya que es poco móvil y no llega al mismo por encontrarse en fases minerales poco solubles como rutilo e ilmenita.

En el Gráfico 18 se visualiza que para los elementos: Sc, Ti, V, Mn y Co en las rocas de Canelones I, III y Colonia presentan mayores valores que los viñedos en Maldonado y Canelones II. Sin embargo para el Cu y Zn, los valores no siguen el patrón marcado anteriormente, el Cu es mayor en Canelones I y para el Zn se da en forma descendente: Maldonado, al medio se encuentran Canelones I, Canelones III y Colonia, por último Canelones II.

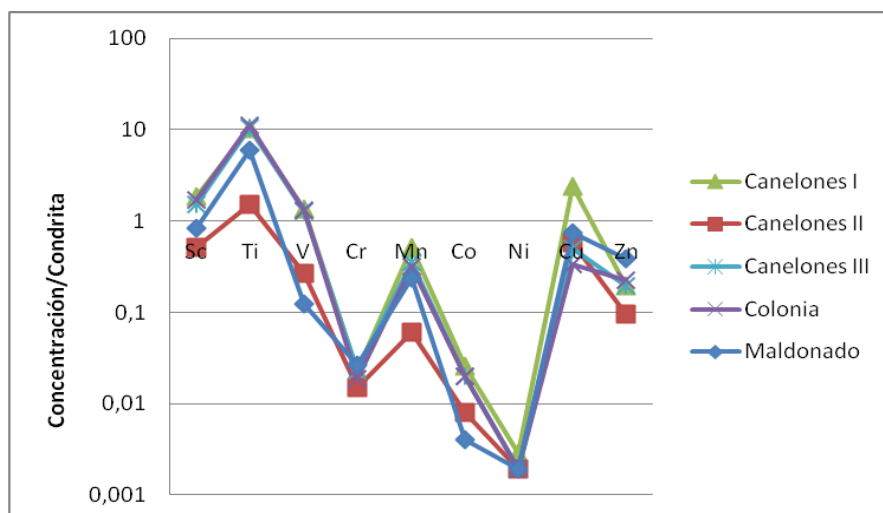


Gráfico 18: Normalización de los metales de transición en rocas de los cinco viñedos con datos de Condrita (McDonough y Sun, 1995).

### 4.3. Geoquímica isotópica

#### 4.3.1. Relación isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

En el Cuadro 11 se expone la relación isotópica de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en roca, suelo y vino para el viñedo Canelones I, II y Colonia. A su vez se presentan las relaciones de Sr para vino y suelo en Canelones III y Maldonado.

Cuadro 11: Relación isotópica de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en roca, suelo y vino para los cinco viñedos estudiados.

Muestra y viñedo	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Error
Vino Canelones I	0,70734	0,00001
Suelo Canelones I	0,70738	0,00001
Roca Limo Canelones I	0,70723	0,00001
Vino Canelones II	0,70716	0,00000
Suelo Canelones II	0,70712	0,00000
Roca Limo Canelones II	0,70722	0,00001
Vino Canelones III	0,70756	0,00001
Suelo Canelones III	0,70771	0,00001
Vino Colonia	0,70710	0,00001
Suelo Colonia	0,70706	0,00000
Roca Limo Colonia	0,70717	0,00000
Vino Maldonado	0,70826	0,00001
Suelos Maldonado	0,70833	0,00001

En el Gráfico 19 se ve claramente que los valores de roca, suelo y vino son semejantes dentro de cada viñedo, para todos los casos analizados se observan valores similares de la relación isotópica de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en suelo y vino. Sin embargo se diferencian entre viñedos.

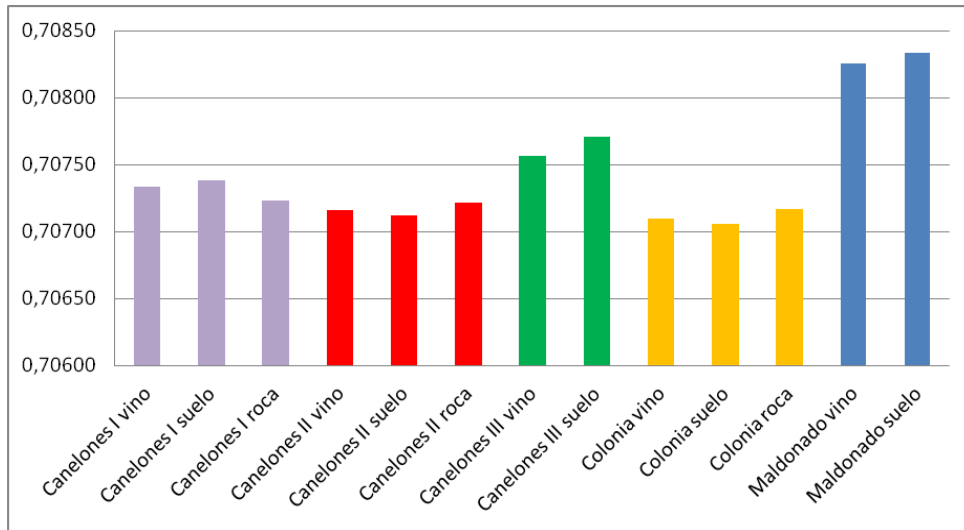


Gráfico 19: Relación de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en vino, suelo y roca para los cinco viñedos con los datos disponibles.

Considerando los tres viñedos que tienen un limo como material parental en el Gráfico 20, se ve claramente que Canelones I tiene levemente mayor relación isotópica en el vino, suelo y la roca que Canelones II y Colonia. Además se observan valores similares para vino, suelo y la roca subyacente.

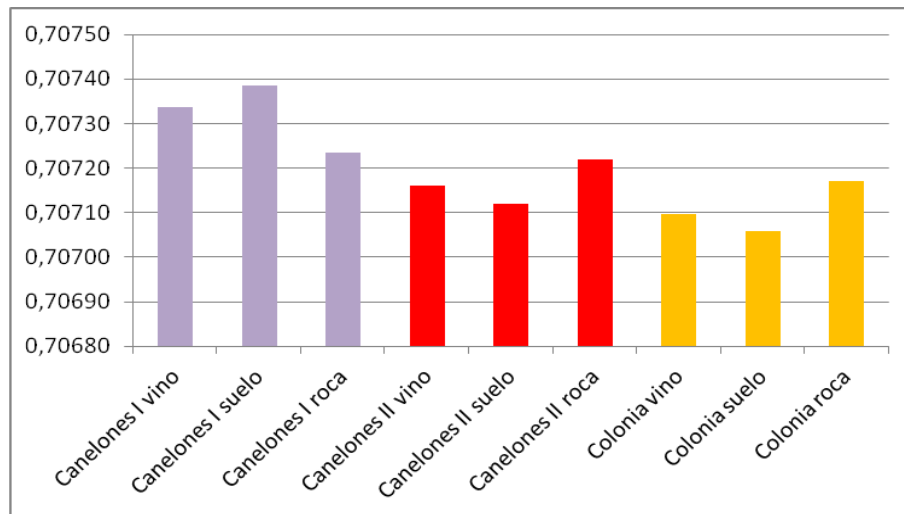


Gráfico 20: Relación de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en vino, suelo y roca para los tres viñedos que tienen a Formación Libertad como material parental.

Los valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  encontrados son similares a los medidos en loess “pampeanos” (Pleistoceno) de la Provincia de Buenos Aires en Argentina (Figura 45 y 46) por Smith et al. (2003).



Figura 45: Estudio de proveniencia de loess mediante relación de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Sitios de las muestras (triángulos), Áreas fuente potenciales (círculos numerados) y direcciones de transporte (flechas). La distribución del loess es mostrada por el área punteada: dentro de estas por la cuenca de los ríos Paraná y Uruguay (5); rocas Paleozoicas/ basálticas (6) entre otras. Fuente: Kemp et al. (2003).

Cuadro 12: Datos isotópicos del Sr y Nd en muestras de loess argentinos, resaltando en amarillo los datos similares a los encontrados en este estudio. Fuente: Kemp et al. (2003).

Site <sup>a</sup>	Sample	CaCO <sub>3</sub> <sup>b</sup> (wt%)	[Sr] (ppm)	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr <sup>c</sup>	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	ε <sub>Nd</sub>	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd <sup>d</sup>	T <sub>DM</sub>
Hipódromo	H1	–	–	0.705964	0.512581	–1.07	0.1231	0.96
Hipódromo	H2	1.2	310	0.705986	0.512594	–0.81	0.1372	1.11
Hipódromo	H3	0	371	0.705914	0.512583	–1.04	0.1370	1.13
Hipódromo	H4	0.1	347	0.706207	0.512577	–1.14	0.1319	1.07
Gorina	G1B	2.6	–	0.707624	0.512478	–3.08	0.1192	1.08
Gorina	G1C	2.5	–	0.707557	0.512460	–3.43	–	–
Gorina	G1F	2.1	–	0.708551	0.512500	–2.65	–	–
Gorina	G2	0.2	222	0.707701	0.512482	–3.00	0.1313	1.23
Gorina	G3	2.3	521	0.707617	0.512554	–1.61	0.1409	1.25
Gorina	G4	1.1	232	0.707592	0.512552	–1.64	0.1265	1.05
Baradero	B2	–	–	0.709927	0.512339	–5.79	0.1225	1.35
Baradero	B1	0.2	209	0.709612	0.512361	–5.37	0.1283	1.41
Baradero	B3	3.6	216	0.708987	0.512430	–4.02	0.1277	1.27
Baradero	B4	2.8	203	0.708950	0.512459	–3.46	0.1234	1.17
Baradero	B5	2.7	191	0.709387	0.512432	–3.99	0.1309	1.32
Lozada	L1	–	–	0.708089	0.512458	–3.47	0.1221	1.15
Lozada	L2	3.1	320	0.708270	0.512452	–3.59	0.1321	1.30
Lozada	L3	0.2	315	0.708135	0.512469	–3.26	0.1317	1.26
Lozada	L4	0.6	522	0.707904	0.512468	–3.27	0.1313	1.26
El Lamedero	E1	–	–	0.711894	0.512308	–6.40	0.1154	1.30
El Lamedero	E2	3.6	227	0.711274	0.512405	–4.51	0.1292	1.34
El Lamedero	E3	–	289	0.712331	0.512316	–6.25	0.1258	1.44
El Lamedero	E4	0.3	264	0.712134	0.512320	–6.17	0.1329	1.56

<sup>a</sup> Locations of sample sites as follows: Hipódromo – 37.57°S, 57.38°W; Gorina – 34.54°S, 58.01°W; Baradero – 33.47°S, 59.30°W; Lozada – 31.39°S, 64.64°W; El Lamedero – 28.70°S, 66.06°W.

<sup>b</sup> CaCO<sub>3</sub> concentrations measured using a calcimeter [44].

<sup>c</sup> Precision is dominated by external reproducibility. For the period of these analyses, NIST SRM987 Sr gave <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr = 0.710247 ± 0.000011 (two standard deviations of the mean, n = 17). The La Jolla Nd standard gave 0.511856 ± 0.000007 (two standard deviations of the mean). This is equivalent to an uncertainty on ε<sub>Nd</sub> of 0.14.

<sup>d</sup> Derived from Nd and Sm concentrations measured by ICP-MS. Sr concentrations also measured by ICP-MS.



### 4.3.2. Relaciones isotópicas de Pb en vino

Cuadro 13: Concentración de Pb en mg/L de los cinco viñedos.

Sitio	Concentración de Pb (ppb)
Canelones I	13.81
Canelones II	11.82
Canelones III	10.21
Colonia	22.49
Maldonado	14.50

Cuadro 14: Resultados de la determinación de la concentración total de Pb en las muestras tomadas de bibliografía.

Wine sample	Lead concentration, $\mu\text{g l}^{-1} \pm \text{RSD}$		
	ICPQ MS	ICP SFMC MS	ICP TOF MS
Uruguay	29.5 $\pm$ 0.3 (30.1) <sup>a</sup>	25	12 $\pm$ 1
Australia 1	7.5 $\pm$ 0.2 (8.0) <sup>a</sup>	7	6.4 $\pm$ 0.7
Australia 2	37.1 $\pm$ 0.4 (38.4) <sup>a</sup>	35	42 $\pm$ 2
Canarias 1	15.7 $\pm$ 0.3	14	15 $\pm$ 1
Canarias 2	9.2 $\pm$ 0.1	8	7.1 $\pm$ 0.6
Canarias 3	128 $\pm$ 1	112	143 $\pm$ 4
Canarias 4	5.5 $\pm$ 0.1	5	4.7 $\pm$ 0.3
Canarias 5	16.5 $\pm$ 0.7	15	15 $\pm$ 2
California 1	42.9 $\pm$ 0.5	37	15 $\pm$ 1
California 2	16.2 $\pm$ 0.3	22	26 $\pm$ 1
China	32.8 $\pm$ 0.4	30	12.3 $\pm$ 0.5
Italy 1	63 $\pm$ 1	64	66 $\pm$ 2
Italy 2	83 $\pm$ 1	70	35 $\pm$ 1
Canada	12.3 $\pm$ 0.4	10	12.0 $\pm$ 0.5
South Africa 1	10.1 $\pm$ 0.3	8	10 $\pm$ 1
South Africa 2	28.8 $\pm$ 0.5	23	16.1 $\pm$ 0.3
Chile 1	49 $\pm$ 1	38	40 $\pm$ 2
Chile 2	38 $\pm$ 1	29	30 $\pm$ 1
BCR C (65.1 $\pm$ 9.1) <sup>b</sup>	67 $\pm$ 7	56	69 $\pm$ 1
BCR E (36.1 $\pm$ 4.9) <sup>b</sup>	37 $\pm$ 8	34	38 $\pm$ 1

<sup>a</sup> Values obtained by isotope dilution analysis.

<sup>b</sup> Certified values.

Fuente: Barbaste et al. (2001)

Cuadro 15: Relaciones isotópicas de Pb en vino.

Muestra y viñedo	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2s^+$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2s^+$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2s^+$
Vino Canelones I	18,194	0,036	15,634	0,032	38,182	0,080
Vino Canelones II	18,164	0,047	15,645	0,041	38,201	0,102
Vino Canelones III	18,218	0,037	15,658	0,032	38,257	0,081
Vino Colonia	18,209	0,043	15,631	0,038	38,183	0,094
Vino Maldonado	18,169	0,031	15,630	0,028	38,174	0,069
Muestra y viñedo	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 2s^+$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 2s^+$	$r_1^{**}$	$r_2^{\dagger\dagger}$
Vino Canelones I	0,85930	0,00025	2,09862	0,00089	0,990	0,980
Vino Canelones II	0,86130	0,00026	2,10310	0,00104	0,993	0,983
Vino Canelones III	0,85947	0,00029	2,09998	0,00107	0,987	0,971
Vino Colonia	0,85843	0,00025	2,09696	0,00079	0,993	0,988
Vino Maldonado	0,86025	0,00027	2,10101	0,00089	0,984	0,973

\*\*  $r_1 = ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs.  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  correlación de error;  $\dagger\dagger$   $r_2 = ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs.  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  correlación de error; + Los errores son dos desviaciones estándar absolutas (Ludwig, 1988) (Ludwig 1988 citado por el laboratorio de Dinamarca).

El fraccionamiento de Pb fue controlado por repetición análisis del estándar SRM NBS 981 (valores de Todt et al. 1993 citados por el laboratorio de Dinamarca) y varía entre 0.103 +/- 0.007%/a.m.u. (2s, n=5).

Según Cheng y Hu (2010) para utilizar la relación isotópica de Pb como huella digital isotópica, se puede encontrar solamente en  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  y  $^{208}\text{Pb}$  porque la abundancia de  $^{204}\text{Pb}$  es casi constante. Los isótopos de Pb tienen diferentes fuentes que pueden ser diferenciadas al realizar mediciones, obteniéndose distintas relaciones isotópicas. Y se emplean dos de las proporciones de isótopos de  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ , y  $^{208}\text{Pb}$ , por ejemplo,  $^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$  (comúnmente utilizado en estudios del medio ambiente, mientras  $^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$  se utiliza en estudios de geocronología) y

$^{208}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$ . La técnica ha sido desarrollada como huella isotópica en geoquímica para el establecimiento de las fuentes de contaminación por plomo y el reparto de sus contribuciones. Con un poder discriminatorio alto, esta herramienta requiere el análisis de un pequeño número de muestras. Los rangos típicos de las relaciones isotópicas de Pb se encuentran en los materiales naturales son: 14-30 de  $^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ , 15-17 de  $^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$  y 35-50 para  $^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ .

Algo notable es que las relaciones de los cinco vinos son muy cercanas en el Gráfico 21.

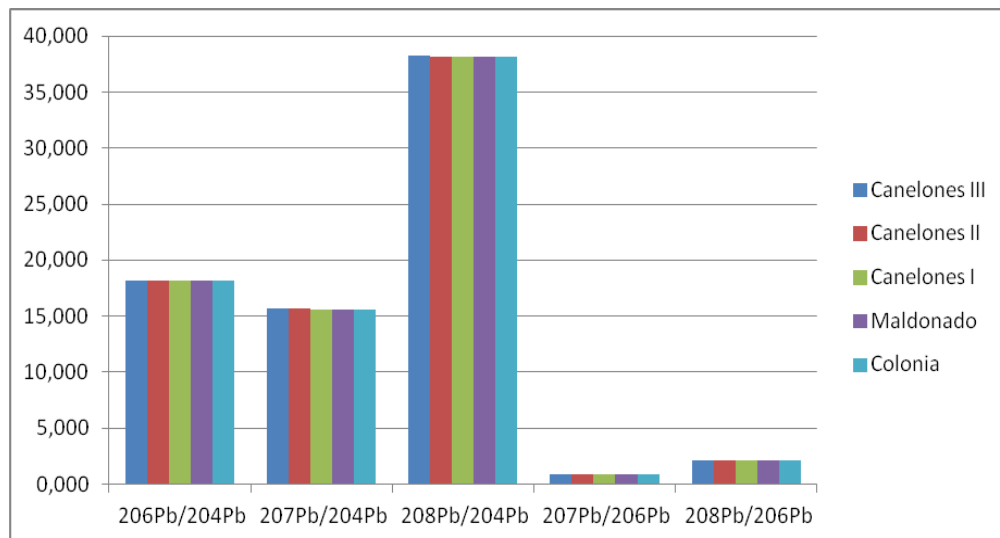


Gráfico 21: Relaciones isotópicas de Pb para los cinco vinos.

Por otro lado si se analiza la relación de cada par isotópico de Pb para los cinco viñedos se puede observar que existen diferencias apreciables, por ello se discriminó en los siguientes gráficos:

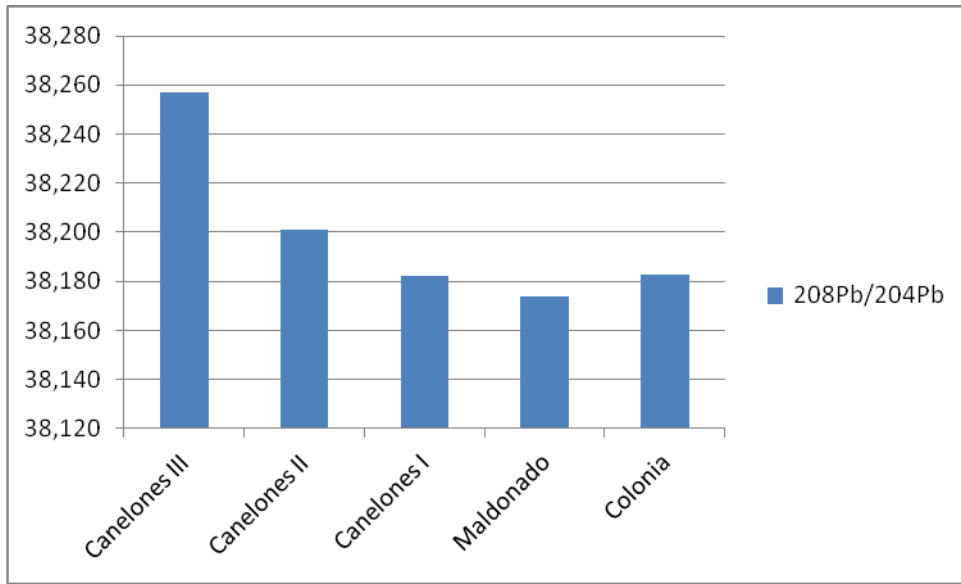


Grafico 22: Relación  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  para los cinco vinos.

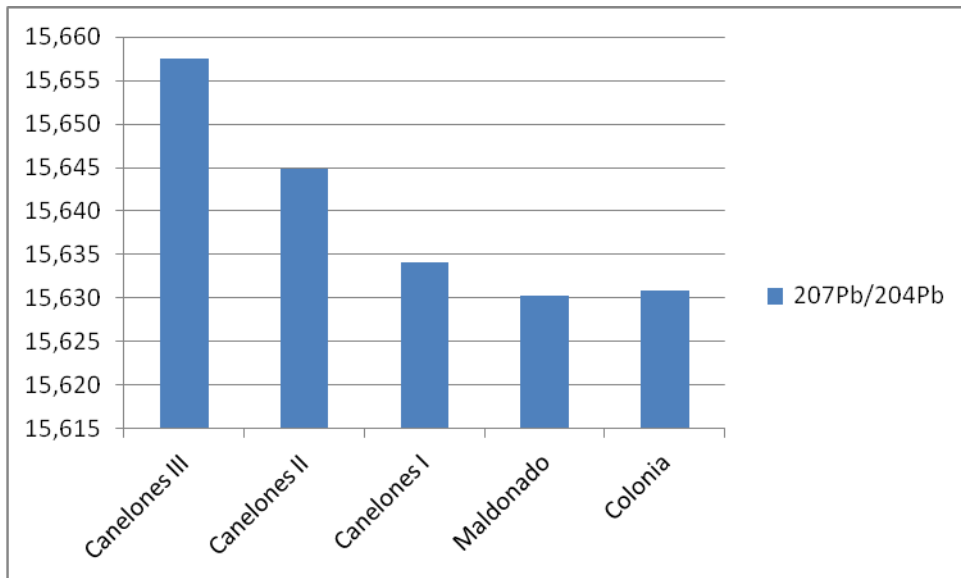


Grafico 23: Relación  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  para los cinco vinos.

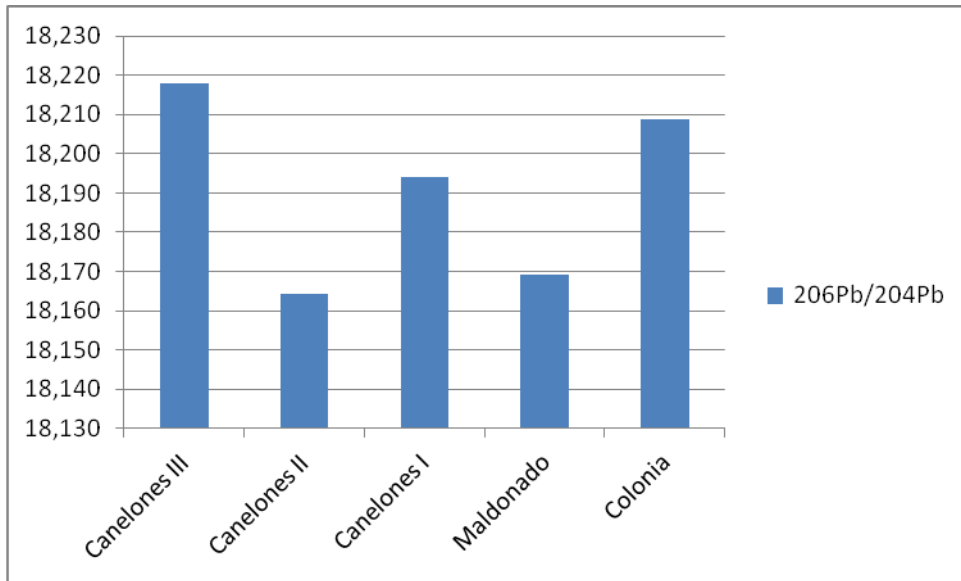


Grafico 24: Relación  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  para los cinco vinos.

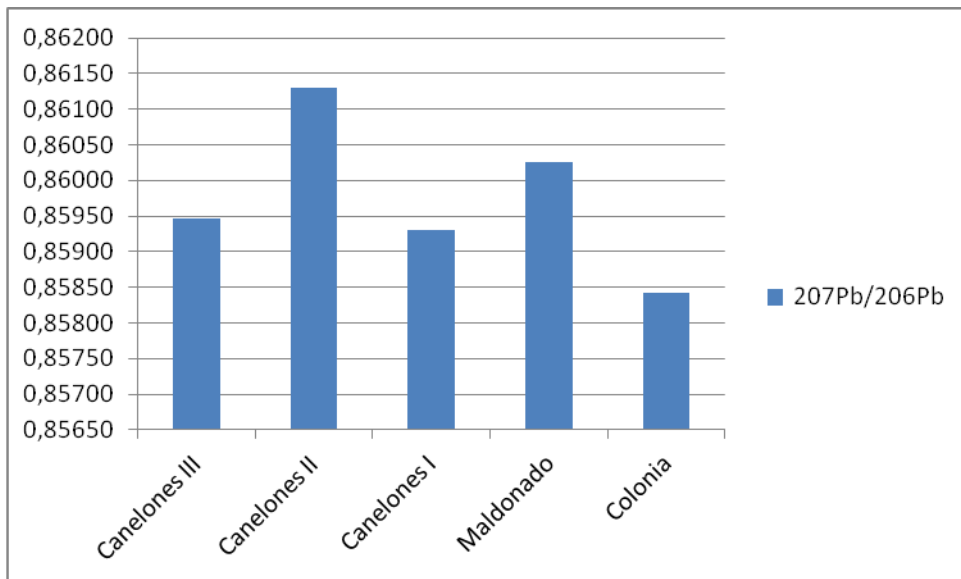


Grafico 25: Relación  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  para los cinco vinos.

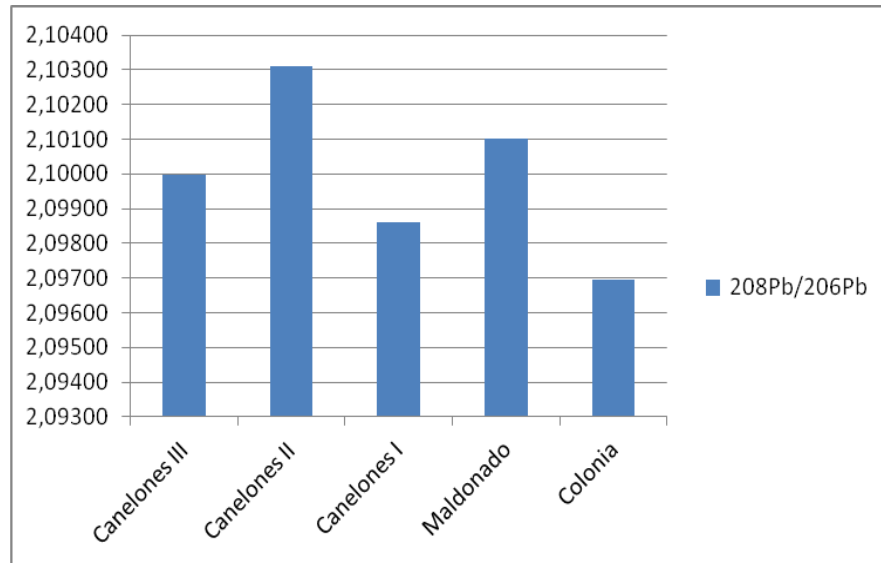


Grafico 25: Relación  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  para los cinco vinos.

Las relaciones de Pb encontradas en vino dan en el promedio de sedimentos según los resultados de Miller et al. (1994).

Cuadro 16: Relaciones isotópicas de Pb en vino según datos de Barbaste et al. (2001) para diferentes países y datos de este estudio.

		$Pb^{206}/Pb^{204}$	$Pb^{206}/Pb^{207}$	$Pb^{208}/Pb^{206}$
<b>Este estudio</b>	Uruguay Canelones III	18,2		2,10
	Uruguay Canelones II	18,2		2,10
	Uruguay Canelones I	18,2		2,10
	Uruguay Maldonado	18,2		2,10
	Uruguay Colonia	18,2		2,10
<b>Barbaste et al. (2001)</b>	Uruguay	18,1	1,17	2,10
	Australia 1	18,2	1,17	2,10
	Australia 2	18,6	1,19	2,05
	Canarias 1	18,2	1,17	2,08
	Canarias 2	18,3	1,18	2,08
	Canarias 3	18,1	1,16	2,10
	Canarias 4	17,9	1,17	2,09
	Canarias 5	18,6	1,19	2,07
	California 1	18,3	1,17	2,09
	California 2	18,4	1,18	2,07
	China	17,9	1,15	2,13
	Italia 1	17,9	1,15	2,12
	Italia 2	17,8	1,14	2,12
	Canadá	17,9	1,17	2,09
	Sudáfrica 1	17,8	1,14	2,11
	Sudáfrica 2	18,0	1,16	2,10
	Chile 1	18,1	1,17	2,09
	Chile 2	17,9	1,16	2,10
	Francia 1	18,3	1,17	2,09
	Francia 2	18,1	1,16	2,10

Utilizando los datos de las relaciones isotópicas de  $^{206}Pb/^{204}Pb$  y  $^{208}Pb/^{206}Pb$  obtenidos por Barbaste et al. (2001) que se muestran en el siguiente cuadro, se contruyó el Gráfico 26.

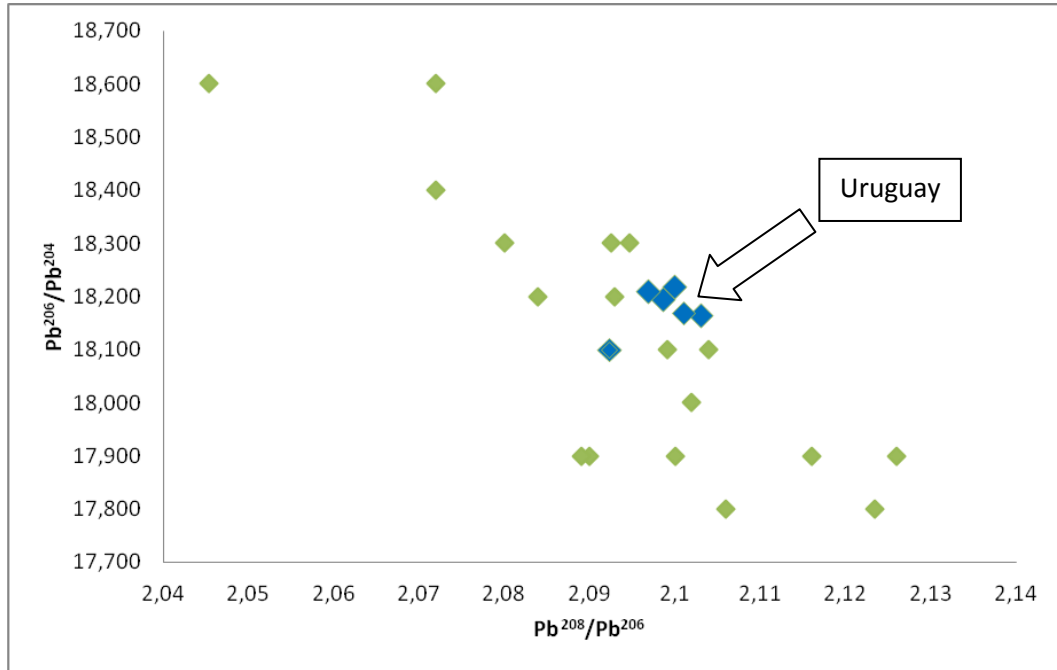


Gráfico 27: Relación  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  para los cinco viñedos, en color azul se presentan las muestras de este trabajo y el dato bibliográfico de Uruguay y en verde los datos de bibliográficos de los otros lugares.



#### 4.4. Análisis estadístico

Considerando todos los elementos traza disponibles (incluyendo las tierras raras) para los cinco viñedos en los cinco vinos y las cinco rocas respectivas, se observa (Gráfico 28) una clara separación del viñedo de Maldonado con respecto a los otros cuatro sitios, hecho que concuerda con un material geológico diferente a los otros viñedos ya que no presenta limo en el cuadro estudiado.

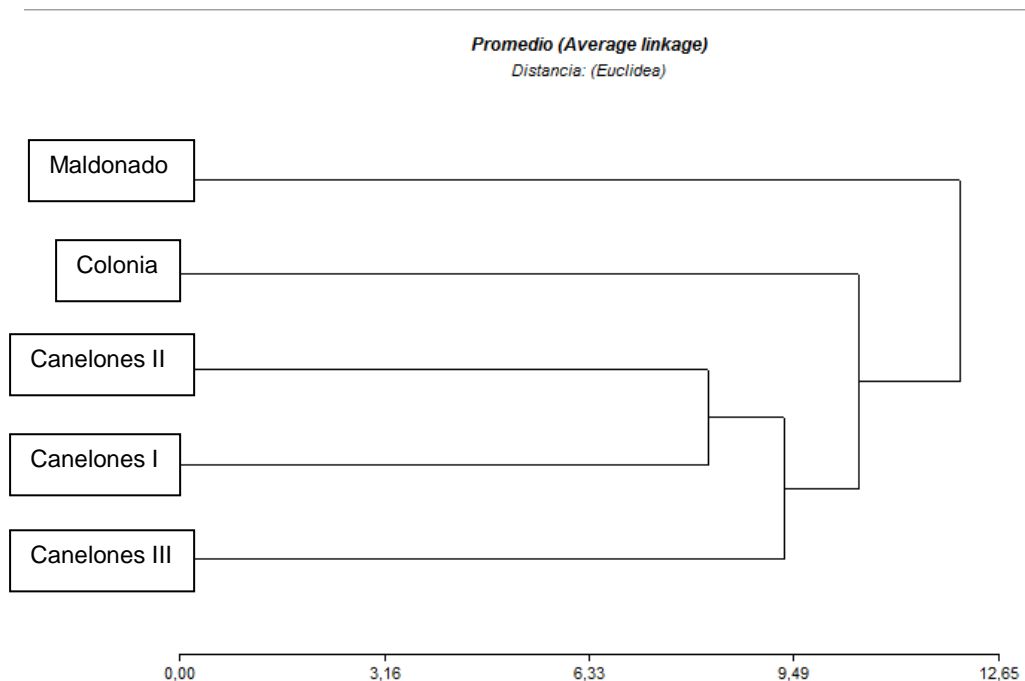


Gráfico 28: Diagrama donde se discrimina entre sitios según los elementos traza en vino y roca.

Los resultados obtenidos analizando los datos de las relaciones isotópicas de Sr determinadas para los vinos y suelos de los cinco sitios,

fortalece la afirmación de que el viñedo de Maldonado se separa notablemente del resto (Gráfico 29). A su vez se observa la separación del viñedo ubicado en el este de Canelones (Canelones III) de Canelones I, Canelones II y Colonia, separando de esta forma los viñedos con menor incidencia de limos de la Formación Libertad como material generador de los suelos de los tres viñedos ubicados sobre limos (Colonia, Canelones I Y II).

También se puede ver que Canelones II y Colonia no se pueden diferenciar mediante esta herramienta estadística y si presentan una diferencia medible con Canelones I.

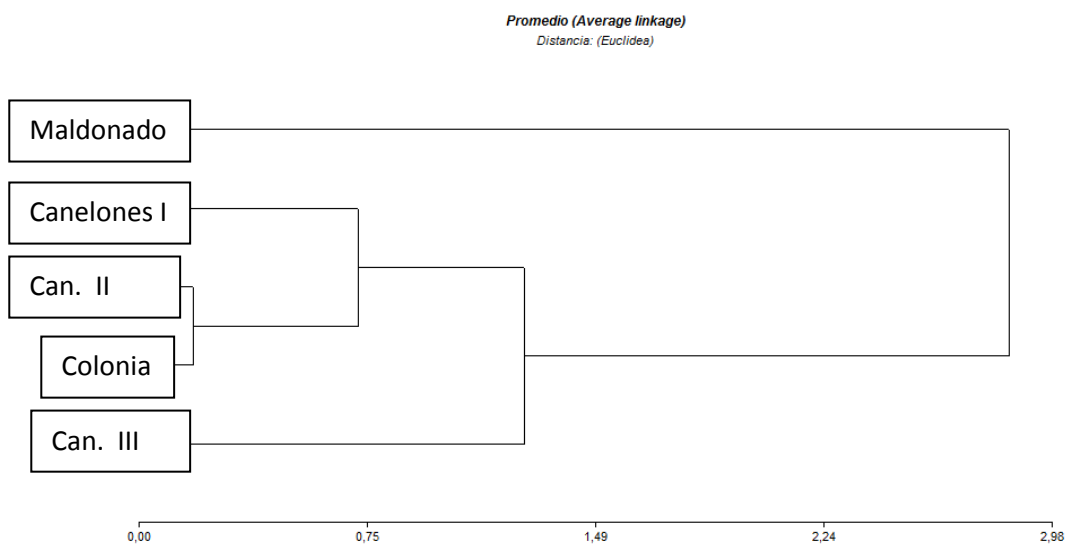


Gráfico 29: Diagrama teniendo en cuenta la relación de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en vino y suelo de los cinco sitios estudiados.

Coincidiendo con las deducciones que se sacaron a partir de Gráfico 28 donde se consideraron las concentraciones de los elementos traza en vino y roca de los cinco viñedos, al tomar solo los valores de los elementos traza en la roca (Gráfico 30 ) se nota claramente la separación del viñedo de Maldonado y el de Canelones III con respecto al resto.

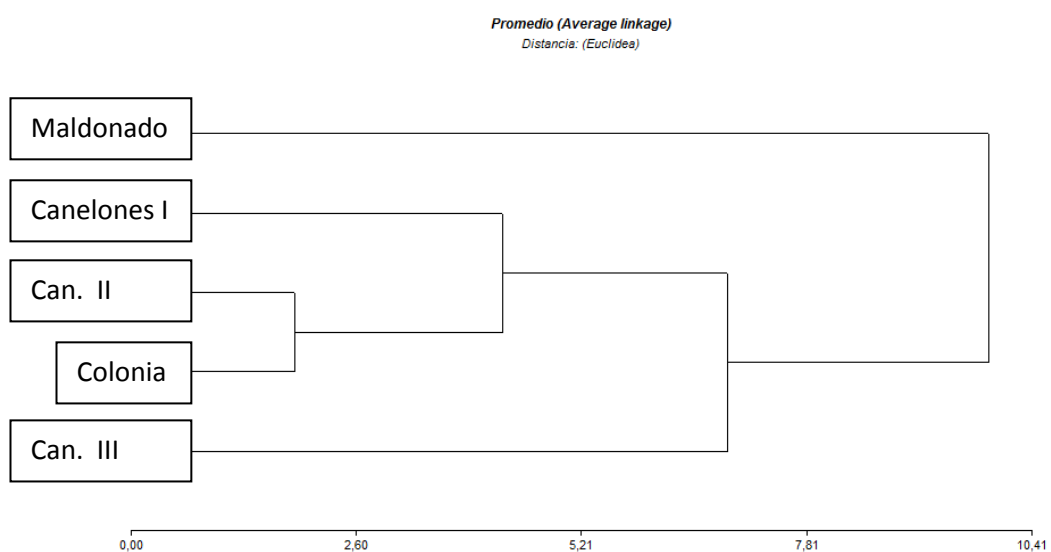


Gráfico 30: Diagrama donde se discrimina entre sitios según todos los elementos traza analizados en roca.

Sin embargo con los datos de los elementos traza en los cinco vinos (Gráfico 31) se puede ver que el vino que se separa del resto es el que se produjo a partir del viñedo de Colonia, mostrando que dicha separación pueda estar explicada también por otra variable.

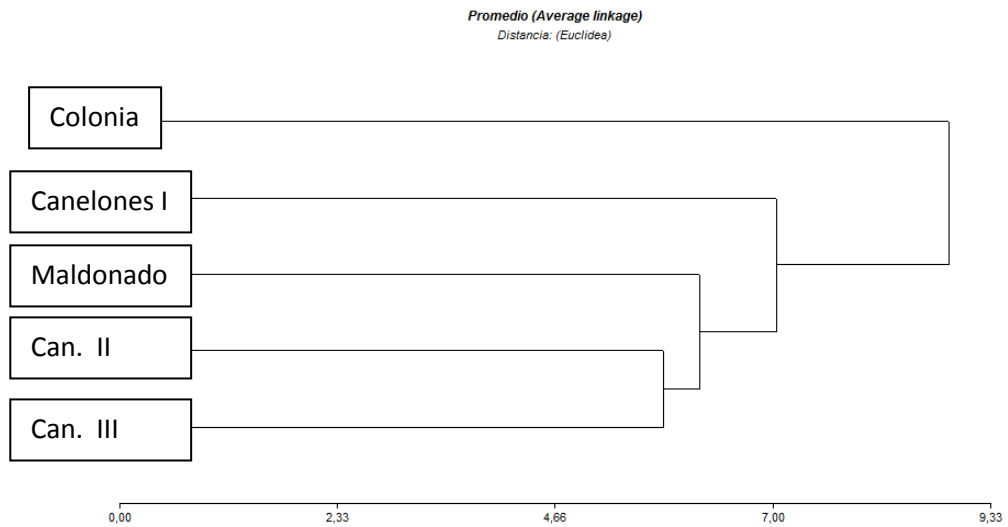


Gráfico 31: Diagrama donde se discrimina entre sitios según todos los elementos traza analizados en vino.

Teniendo en cuenta que los viñedos ubicados sobre limos no se diferencian claramente mediante los elementos traza, se utilizaron otras variables como la relación isotópica de Sr, la información sobre granulometría y bases totales. Entonces se puede notar que el conglomerado (Gráfico 32) realizado con los datos de los viñedos: Canelones I, Canelones II y Colonia, permite observar que el viñedo de Canelones I se diferencia de los otros dos.

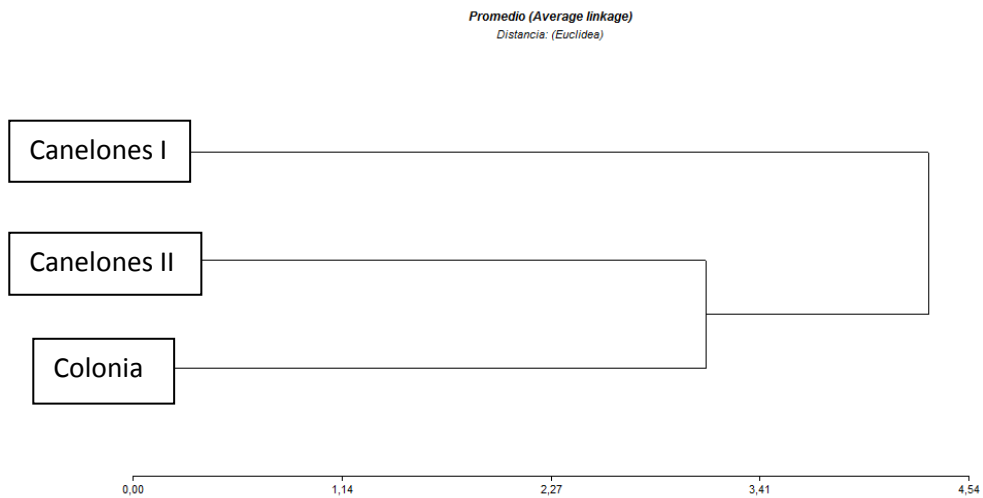


Gráfico 32: Diagrama de conglomerados comparando la relación isotópica de Sr junto al contenido de bases y porcentajes texturales de los viñedos ubicados sobre Formación Libertad.

Cabe aclarar que no fue posible abarcar un mayor número de viñedos o diferentes años, debido a problemas generados por eventos temporales inesperados. Además se realizó un muestreo sin repeticiones ya que el costo de los análisis y envíos es muy elevado.

## 5. DISCUSIÓN

A partir del análisis de los datos geológicos obtenidos para el viñedo Canelones I, se puede inferir que el material parental de los suelos corresponde a la Formación Libertad. No se puede descartar que se trate de la Formación Libertad *sensu stricto*, de origen eólico (loess) a partir de los datos recabados.

Por otra parte el viñedo de Canelones II y Colonia podrían pertenecer a la unidad La Carolina definida por Bossi & Ortiz (2007) producto de la alteración de rocas ígneas del Terreno Tandilia dado que se encontró presencia de gravilla y alto contenido de arena. Sin embargo los valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  y la distribución de tierras raras contradicen lo anteriormente planteado, dado que si fueran rocas Precámbricas alteradas los resultados serían diferentes.

Los viñedos Canelones III y Maldonado poseen como material parental milonitas en ambos casos con las características señaladas durante el estudio geológico de cada viñedo.

Villanueva (1993) señala que los niveles de plomo en el vino ofrecen importantes variaciones, según el tipo de vino y, dentro del mismo, entre unas muestras y otras. La contaminación de la bebida puede ocurrir a lo largo de todo el proceso de elaboración, almacenamiento y consumo: crecimiento de la uva, contacto con la

maquinaria, tanques de fermentación, almacenamiento-suministro, conservación en botellas y encochado.

También se puede observar valores muy bajos en las tierras raras dentro de los vinos coincidiendo con los resultados de Bentlin (2015). Sin embargo hay autores que las mencionan como posibles indicadores geográficos ya que son muy insolubles e inmóviles y los patrones no cambian durante el metamorfismo. Entonces se consideraron dentro de este estudio debido a que se poseen dos viñedos cuyo material parental son rocas metamórficas.

Amorós et al. (2012) identificó al Nb y el Ce como posibles marcadores en los vinos. Aunque existen muchos estudios que señalan diferentes conjuntos de elementos que permiten identificar los lugares geográficamente.

El viñedo de Maldonado y Canelones III manifiestan menores concentraciones de Ti (Gráfico 17) que los otros tres viñedos. En el caso del Ti, este se presenta en sedimentos en forma de rutilo ( $TiO_2$ ), éste es frecuente en sedimentos clásticos. También se puede encontrar como ilmenita  $FeO.TiO_2$ . Estos compuestos aparecen asociados a rocas de alta temperatura, hecho que concuerda con lo hallado en las láminas en rocas de Canelones III, que corresponde a protolitos ígneos metamórficos. También puede provenir de la sustitución del ion férrico como ocurre por ejemplo en la biotita. Asimismo Cugnetto et al. (2014) señala que el

contenido de Ba, Mn, Sr, Si y Ti en hojas, bayas y vino muestran el poder discriminarlos geográficamente.

Observando la concentración isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (Gráfico 19) se ve claramente que los valores de roca, suelo y vino son semejantes dentro de cada viñedo. De la misma forma lo señala Marchionni et al. (2015) manifestando que la relación isotópica de Sr en vino posee independencia del proceso de elaboración y el año de cosecha y es inherente al sustrato pedogenético del viñedo. Sin embargo se diferencian entre viñedos.

Considerando los tres viñedos que tienen un limo como material parental (Gráfico 20), se nota con claridad que Canelones I tiene mayor relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en el vino, suelo y la roca que Canelones II y Colonia. Todos ellos presentan valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  comparables a loess del Pleistoceno de la Provincia de Buenos Aires, cercano al área de estudio (Smith et al. 2003).

La diferenciación de los sitios y la similitud dentro de cada sitio coincide con los resultados obtenidos por Petrini et al. (2015). Entonces para todos los casos analizados se observan muy similares valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en suelo y en vino.

Además en tres de los cinco viñedos se observan valores similares para vino, suelo y la roca subyacente. Y Marchionni et al. (2015) como Tescione et al. (2015) hallaron que el jugo de uva, el mosto y el vino del mismo viñedo muestran similar relación isotópica de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .



El análisis de todos los elementos ha tenido éxito como lo señalan Thiel et al. (2004) y Kaunovaa et al. (2013) entre otros referentes para discriminar geográficamente. En este estudio el análisis elemental sólo separó al viñedo ubicado en Maldonado del resto, y con los datos de las relaciones isotópicas de Sr determinadas para los vinos y suelos de los cinco sitios, se fortalece dicha afirmación (Gráfico 29). A su vez se observa la separación del viñedo ubicado en el Este de Canelones (Canelones III) de Canelones I, Canelones II y Colonia, separando de esta forma los viñedos con menor incidencia de limos de la Formación Libertad como material generador de los suelos de los tres viñedos ubicados sobre milonitas.

La relación isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  fue fundamental para distinguir entre los viñedos. Además este trazador según estudios de Vinciguerra et al. (2015), no es modificado durante el proceso de vinificación. Al igual que Almeida & Vasconcelos (2003b) y Mercurio et al. (2014) entre otros autores a nivel internacional señalan que la relación isotópica de Sr puede ser utilizada para caracterizar la geología en el *Terroir* del vino, relacionado con la proveniencia.

También se puede ver que Canelones II y Colonia no se pueden diferenciar mediante esta herramienta estadística y presentan una leve diferencia con Canelones I (Gráfico 32), coincidiendo con los resultados del estudio geológico realizado para esta investigación. Esta observación

se asocia con la distinción de los limos estudiados como material parental de los suelos de dichos viñedos.

En el estudio geológico se observó que el limo en Canelones II y Colonia presentan un mayor contenido de gravilla, indicando quizás un proceso de retrabajamiento de los limos, con mezcla de material del basamento en ambos casos. Sin embargo Canelones I se asocia a la Formación Libertad.

Los deducciones que se han sacado fortifican las obtenidas por Ferrer et al. (2011) que señalan que las diferencias entre los viñedos considerados según clima, respuesta de la planta y composición de la uva son consistentes con la delimitación de regiones climáticas realizada previamente. Dichos autores consideran que el efecto sitio es preponderante sobre el efecto año, tomando en cuenta la respuesta de la planta en los viñedos de las diferentes regiones.

Los resultados de las relaciones isotópicas de Pb dan dentro de valores naturales y se percibe cierta diferenciación de sitios en algunas de las relaciones mostradas en los gráficos correspondientes. Sin embargo se piensa que no es una herramienta que discrimine por sí sola sino que se debería trabajar con otras variables, concordando con lo expuesto por Cheng y Hu (2010) quienes señalan que para obtener mejores resultados, se deben utilizar las relaciones isotópicas de Pb en conjunción con otros datos y la ayuda de otra herramienta como análisis geoespacial, en el

caso de identificar las fuentes y vías de transporte de Pb en el medio ambiente.

Además Mihaljevič et al. (2006) encontraron durante un estudio de la relación isotópica de  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  y  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  en vinos y suelos, que la relación isotópica en el vino depende de la relación isotópica del aire y no tanto del suelo. Las relaciones isotópicas en vino eran mayores que en el suelo del viñedo.

Claramente tomando todas las evidencias se pueden distinguir tres unidades básicas de territorio: Maldonado, Canelones III y los viñedos que están sobre Formación Libertad (Colonia, Canelones I y Canelones II). A pesar de ello el viñedo de Colonia y Canelones II poseen una leve diferencia en la relación de Sr con Canelones I, que podría junto a otras relaciones isotópicas (O; H) permitir una mejor discriminación entre estos y el viñedo de Canelones I para llegar a proponerlos como unidades básicas de territorio diferentes.

## 6. CONCLUSIONES

El estudio de elementos traza normalizados a los estándares Condrita y PAAS de cinco muestras de vino Tannat y su relación con el suelo y el subsuelo permitió extraer las siguientes conclusiones:

El contenido de tierras raras es muy bajo en los vinos analizados y coinciden con la distribución en las rocas. Además las rocas comparten el enriquecimiento en tierras raras livianas y una anomalía en Eu cuando se normaliza a Condrita.

Las tierras raras en vino normalizadas con Condrita y PAAS, no comparten las mismas tendencias en los diagramas de las rocas y no podrían utilizarse solas para identificar una UTB a través del vino.

Los metales incompatibles muestran concordancia entre el contenido en vinos y roca excepto en los elementos: Nb, La, Ce, Sr y Nd. También los metales de transición comparten la distribución aunque la concentración de Ti en los vinos es menor a la que contienen las rocas y pequeñas variaciones de otros elementos.

Se pudo separar mediante el análisis estadístico de las relaciones de Sr tres grupos: Maldonado que se encuentra sobre milonitas, Canelones III que presenta milonitas y uno sobre limos que reúne los otros viñedos.

Se pudo separar los viñedos cuyo material parental es la Formación Libertad, a través del análisis de varias variables utilizando la herramienta de conglomerados aunque no es tan contrastante la diferencia como para definir separarlos completamente como tres unidades de territorio de base diferentes. Se necesitan más marcadores para discriminar entre los viñedos; y la génesis de los limos.

En esta investigación se observó el efecto directo de la geología y el suelo, mediante la identificación de elementos traza e isótopos de Sr en el vino, dentro de un conjunto de factores que afectan a cada sitio.

La variable que mostró una asociación concreta entre la el suelo y el vino es la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Esto permite afirmar que puede ser utilizada como trazador en futuros estudios.

Este trabajo resultó ser el primer intento de estudio geoquímico e isotópico como herramienta para identificar Unidades Territoriales de Base.

Se han obtenido diagramas que servirán como base para identificar vinos de alta calidad. Se podrán comparar comercialmente los datos de los vinos obtenidos en este estudio con otros vinos Tannat a nivel nacional e internacional para corroborar que los mismos pertenecen a diferentes o similares Unidades Territoriales de Base.

Se podrían considerar en futuros estudios más sitios distribuidos en todo el territorio de Uruguay y repeticiones tomando varios años.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

ABRE, P.; BOSSI, B.; CINGOLANI, C.; GAUCHER, C.; PIÑEYRO, D. Y BLANCO, G. 2014. El Terreno Tandilia en Uruguay y Argentina. Cap 3. Geología del Uruguay- Tomo 1: Predevónico. Impresora Polo S.A. 89-120.

ALMEIDA & VASCONCELOS. 2003a. Does the winemaking process influence the wine  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ? A case study. Food Chemistry 85. 7–12.

ALMEIDA & VASCONCELOS. 2003b. Multi- element composition and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  of wines and their potentialities as fingerprints of wine provenance. Ciencia Técnica Vitivinícola. 18 (1), 15-27.

AMORÓS, J.; GARCÍA, F.; PÉREZ DE LOS REYES, C.; CAMPOS, J.; BRAVO, S.; JIMÉNEZ, R. y GARCÍA, R. 2012. Geochemical influence of soil on leaf and grape (*Vitis vinífera* L. Cencibel) composition in La Mancha region (Spain). Vitis. 51 (3). 111-118.

BACCINO, F. 2003. Mal Abrigo- Sierra de Mahoma: caracterización de una zona vitícola en desarrollo. Aportes para la identificación de un “*terroir*”. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía, Uruguay. 66 p.

BADAJI AZACARAT, I. 2004. Tendencias en el mercado español del vino. (en línea). 57-68. Consultada en jun. 2011. Disponible en

[http://www.mercasa.es/files/multimedios/1292347380\\_DYC\\_2004\\_78\\_57\\_64.pdf](http://www.mercasa.es/files/multimedios/1292347380_DYC_2004_78_57_64.pdf)

BARBASTE, M.; HALICZ, L.; GALY, A.; MEDINA, B.; EMTEBORG, H.; ADAMS, F. AND LOBINSKI, R. 2001. Evaluation of the accuracy of the determination of lead isotope ratios in wine by ICP MS using quadrupole, multicollector magnetic sector and time-of-flight analyzers. *Talanta* 54. 307–317.

BENTLIN, F.; PULGATI, F.; DRESSIER, V. y POZEBON, D. 2011. Elemental analysis of wines from South America and their classification according to country. *J. Braz. Chem. Soc.* Vol. 22. No 2. 327-336.

BOIDO, E. 2012. La vitivinicultura en Uruguay. Equilibrio entre tecnología y tradición cultural. XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Química Montevideo- Uruguay. Disponible en: <http://www.aiquruguay.org/congreso/download/BOIDO.pdf>

BOSSI, J. 1966. Geología del Uruguay. Departamento de publicaciones de la Universidad de la República. Colección Ciencias, 2. Montevideo. 469p.

BOSSI, J.; BORCA, A.; CHOUHY, D; ORTIZ, A.; OLIVEIRA, C. 2008a. Villa del Carmen. In: Delimitación de “terroirs” en las zonas de Nueva Hespérides – Corralito, departamento de Salto y en Villa del Carmen, departamento de Durazno. Facultad de Agronomía. vol 1. s.p.



BOSSI, J.; BORCA, A.; CHOUHY, D; ORTIZ, A.; OLIVEIRA, C. 2008b. Salto. In: Delimitación de “terroirs” en las zonas de Nueva Hespérides – Corralito, departamento de Salto y en Villa del Carmen, departamento de Durazno. Facultad de Agronomía. vol 2. s.p.

BOSSI, J. & NAVARRO, R. (1991). Geología del Uruguay. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.

BOSSI, J. & GAUCHER, C. 2004. The Cuchilla Dionisio Terrane, Uruguay: an allochthonous block accreted in the Cambrian to SW-Gondwana Research, 7 (3), 661-674.

BOSSI, J. & ORTIZ, A. 2007. Estudio de la génesis del material madre de un vertisol en la unidad “La Carolina”: Incidencia de las anfibolitas en el proceso propuesto. Agrocencias. Vol XI, No 2. 58-71.

BOSSI, J. & GAUCHER, C. 2014. Geología del Uruguay, Tomo 1 Predevónico. Impresora POLO S.A. Montevideo. 450p.

BOSSI, J & PIÑEYRO, D. 2014. Terreno Piedra Alta. En Geología del Uruguay- Tomo 1- Predevónico. Ed. Jorge Bossi & Claudio Gaucher. 45-86p.

CALVO, R. 2008. La viticultura uruguaya luego de 100 años de existencia. Anuario 2008 – OPYPA. 363-372.

CAMPAL N.; OYHANTCABAL P.; BACHMANN I. Y GALMARINI G. 1988. La faja milonítica de los Cerros Mosquitos. In: reunión de geología de Uruguay, Salto acta. 93-101.

CAPO, R.; STEWART, B. y CHADWICK, O. 1998. Strontium isotopes as tracers of ecosystem processes: Theory and methods. *Geoderma*. 82. 197-225.

CARBONNEAU, A. ; MOUEIX, A. ; LECLAIR, N. ; RENOUX, J. 1991 Proposition d'une méthode de prélèvement de raisin à partir de l'analyse de l'hétérogénéité de maturation sur un cep. *Bull. OIV 727/728*: 679 – 690.

CHENG, H. & HU, Y. 2010. Lead (Pb) isotopic fingerprinting and its applications in lead pollution studies in China: A review. *Environmental Pollution*. 158. 1134–1146.

CIONE, A.L. & TONNI, E.P. 1995. Chronostratigraphy and “Land-Mammal Ages” in the Cenozoic of Southern South America: principles, practices, and the “Uquian” problem. *Journal of Paleontology* 69: 135–159.

CORONEL, N. & OYHANTÇABAL, P. 1988. Carta geológica del Uruguay a escala 1/100.000 - fotoplano J-28 Pando. Convenio Dirección Nacional de Minería y Geología-Facultad de Agronomía-Facultad de Ciencias. Montevideo, Uruguay.

CUGNETTO, A.; SANTAGOSTINI, L.; ROLLE, L.; GUIDONI, S.; GERBI, V. AND NOVELLO, V. 2014. Tracing the “*terroirs*” via the elemental composition of leaves, grapes and derived wines in cv Nebbiolo (*Vitis vinifera* L.). *Scientia Horticulturae* 172. 101–108.

DELOIRE, A.; FERRER, M.; CARBONNEAU, A. 2003 Respuesta de la viña al terroir: Elementos para un métodos de estudio- *Agrociencia*, Vol 7, No 1. 105- 113.

ECHEVERRÍA, G. 2003. Luces y sombras en el desarrollo de la competitividad vitícola de Uruguay: un enfoque evolucionista. Tesis de Maestría. *Escole Nationale Superieure Agronomique* y Facultad de Agronomía. 105p.

ECHEVERRÍA, G.; FERRER, M.; GONZÁLEZ-NEVES, G.; CAMUSSI, G.; HERNÁNDEZ, J. 2010. El *terroir*, herramienta para el desarrollo territorial: el caso de Colonia del Sacramento. *Territorios del vino*. V. Año IV 6. 64-74.

EMSBO, P.; MCLAUGHLIN, P.; BREIT, G.; DU BRAY, E.; KOENIG, A. 2015. Rare earth elements in sedimentary phosphate deposits: solution to the global REE crisis?. *Gondwana Research* 27. 776-785.

FERRER, M. & CAMUSSI, G. 2001. Influencia de la calidad de la materia prima en la eficiencia de una planta de empaque de uva de mesa. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, v.: 32.195 – 199.

FERRER, M. 2004. El *terroir* (terruño) como herramienta de valorización de la calidad y la tipicidad de los vinos uruguayos. Comisión Social Consultiva, Universidad de la República. 30p. Consultada jun. 2011. Disponible en <http://www.rau.edu.uy/universidad/consultiva/informes/produccion3.pdf>

FERRER, M. 2007. Etude du climat des régions viticoles de l'Uruguay, des variations climatiques et de l'interaction apportée par le microclimat et l'écophysiologie des systèmes de conduite espalier et lyre sur Merlot. Tesis de Doctorado. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. 359 p.

FERRER, M.; GONZÁLEZ, G.; ECHEVERRÍA, G.; CAMUSSI, G.; AVONDET, R.; SALVARREY, J.; GUZMÁN, F y FOURMENT, M. 2011. Comportamiento agronómico y potencial enológico de la uva Tannat en tres regiones climáticas uruguayas. Revista Agrociencia Uruguay. Vol 15, 1. 37-49.

FERRER, M.; PEDOCCHI, R.; MICHELAZZO, M.; GONZÁLEZ NEVES, G.; CARBONNEAU, A. 2007. Delimitación y descripción de regiones vitícolas de Uruguay en base al método de clasificación climática multicriterio utilizando índices bioclimáticos adaptados a las condiciones del cultivo. Agrociencia. Vol. XI. 47-56.

FERRER, M.; FOURMENT, M Y PEREYRA, G. 2013. Estudio de la sensibilidad y capacidad adaptativa de los principales agro- sistemas a

los efectos del cambio y variabilidad climática, e identificación de alternativas para la construcción de resiliencia – FAO. TCP 3302. Sensibilidad de la vid a la variabilidad climática.

Disponible en línea: <http://www.fao.org/climatechange/37120-7bb7ca8a789a10ef44b36de9f77f30b2.pdf>

FIKET, Z.; MIKAC, N. y KNIEWALD, G. 2011. Arsenic and other trace elements in wines of eastern Croatia. Food Chemistry. 126. 941-947.

GASS, I.; SMITH, P. & WILSON, R. 2002. Introducción a las ciencias de la tierra. Reverte. 413p.

GAUCHER, C.; SPRECHMANN, P.; MONTAÑA, J. 1998. New advances on the geology and paleontology of the Vendian to Cambrian Arroyo del Sldado Group of the Nico Pérez Terrane of Uruguay. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte. (2). 106-118.

GONZÁLEZ-NEVES G., GIL G., BARREIRO L., FERRER M. Y FRANCO J. 2006. Composición fenólica de las uvas de las principales variedades tintas de Vitis vinífera cultivadas en Uruguay. Agrociencias; 10(2): 1-14.

GOSO, H. 1965. El Cenozoico en el Uruguay. Instituto Geológico del Uruguay. M.I.E. 36 p. Ed. Mimeogr. Montevideo.

GOSO, C. 1999. Análise estratigráfica do Grupo Paysandú (Cretáceo), na Bacia do litoral, Uruguay. Tese de Doutorado. UNESP – Ríó Claro. Brasil. 184p.

GOSO, C. 2006. Aspectos sedimentológicos y estratigráficos de los depósitos cuaternarios de la costa platense del Departamento de Canelones (Uruguay). Latin American journal of sedimentology and basin analysis. V. 13 N.1 La Plata. Version On-line. ISSN1851-4979.

GREENOUGH, J. D.; MALLORY-GREENOUGH, L. M., and FRYER, B. J. 2005. Geology and wine 9: Regional trace element fingerprinting of Canadian wines. Geoscience Canada 32: 129-137.

HAYNES, S. 1999. Geology and Wine 1. Concept of terroir and the role of geology. Geoscience Canada. Vol 26, No 4. 190-194.

INHAN, L.; FERREIRA, J.; MARQUES, C. y REBELO, J. 2013. RAE. San Paulo. V. 53, n. 3. 256-271.

INSTITUTO NACIONAL DE VITIVINICULTURA c. Sin año. Evolución de las exportaciones por mes y por año. Expresado en litros. Disponible en: [http://www.inavi.com.uy/uploads/archivos/file\\_d62ea012de.pdf](http://www.inavi.com.uy/uploads/archivos/file_d62ea012de.pdf)

INAVI. 1997. Reglamento vitivinícola del MERCOSUR. Disponible en: <http://www.inavi.com.uy/articulos/412-6-reglamento-vitivina-cola-del-mercolsur.html> 1997.

INAVI. 2014. Estadísticas de viñedos 2014. Datos nacionales. (en línea) Disponible en: [http://www.inavi.com.uy/uploads/archivos/file\\_356bf85f16.pdf](http://www.inavi.com.uy/uploads/archivos/file_356bf85f16.pdf).

KAUNOVAA, A. A.; PETROVA, V. I.; TSYUPKOA, T. G.; TEMERDASHEVA, Z. A.; PEREKOTIIA, V. V. and LUK'YANOV, A. A. 2013. Identification of Wine Provenance by ICP\_AES Multielement Analysis. Journal of Analytical Chemistry. Vol 68. No 9. 831-836.

KAWASHITA, K; GAUCHER, C; SPRECHMANN, P.; TEIXEIRA, W.; VICTÓRIA, R. 1999. Preliminary chemostratigraphic insight on carbonate rocks from Nico Pérez Terrane (Uruguay). In: Actas II South American Symposium on Isotope Geology. Córdoba- Argentina. 399-402.

KELLY S., HEATON K., HOOGEWERFF J. 2005. Tracing the geographical origin of food: The application of multi-element and multi-isotope Analysis Trends in Food Science & Technology 16. 555–567.

KERR, P. F. (1965). Mineralogía Óptica. 433p.

LARCHER, R.; NICOLINI, G.; PANGRAZZI, P.; BONTEMPO, L.; RUSSO, S.; STOCCHETTI, R.; VERSINI, G.; MAGNO, F. 2006. Microelementi e vino. Vigne Vini. 4. 108- 114.

LAVILLE, P. 1993. Unités de terroir naturel et terroir, une distinction nécessaire pour redonner plus de coherence au système d'appellation

d'origine. Bull. OIV, 745-746, 227-251.

LÓPEZ, J. & BELLOS, L. 2006. Texturas y Estructuras de las Rocas Ígneas: Significado Petrológico e Implicancias en las Condiciones de Formación de las Rocas. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo Universidad Nacional de Tucumán San Miguel de Tucumán. INSTITUTO SUPERIOR DE CORRELACION GEOLÓGICA (INSUGEO). Miscelánea INSUGEO 15. En línea. Disponible en: [http://www.insugeo.org.ar/libros/misc\\_15/miscelanea\\_15.pdf](http://www.insugeo.org.ar/libros/misc_15/miscelanea_15.pdf)

MANLY, B.F.J. 2005. Multivariate Statistical Methods: A primer, Third edition, Chapman and Hall. Cap, 6. 361-391.

MARCHIONNI, S.; BUCCIANI, A.; BOLLATI, A.; BRASCHI, E.; CIFELLI, F.; MOLIN, P.; PAROTTO, M.; MATTEI, M.; TOMMASINI, S. AND CONTICELLI, S. 2015. Conservation of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  isotopic ratios during the winemaking processes of 'Red' wines to validate their use as geographic tracer. Food Chemistry 190. 777– 785.

MERCURIO, M.; GRILLI, E.; ODIERNA, P.; MORRA, V.; PROHASKA, T.; COPPOLA, E.; GRIFA, C.; BUONDONNO, A. AND LANGELLA, A. 2014. A 'Geo-Pedo-Fingerprint' (GPF) as a tracer to detect univocal parent material-to-wine production chain in high quality vineyard districts, Campi Flegrei (Southern Italy). Geoderma 230–231. 64–78

MICHELAZZO, M. & CALIFRA, A. 2006. Relevamiento geológico en las proximidades de Colonia del Sacramento. Facultad de Agronomía.



MICHELAZZO, M. 2011. Sistema de información geográfica (SIG) como herramienta para la caracterización y delimitación de “terroirs” vitícolas en los alrededores de Colonia del Sacramento. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Montevideo.

MIHALJEVIČ, M.; ETTLER, V.; ŠEBEK, O.; STRNAD, L. AND CHRASTNÝ, V. 2006. Lead isotopic signatures of wine and vineyard soils—tracers of lead origin. *Journal of Geochemical Exploration*. Volume 88. Issues 1–3. 130–133.

MINNAAR, P. 2009. Multi-element analysis of South African wines by ICP- AES and their classification according to geographical origin. Master of Science Chemistry. University of Pretoria.

MORLAT, R. 1996. Eléments importants d'une méthodologie de caractérisation des facteurs naturels du terroir, en relation avec la réponse de la vigne à travers le vin. 1er colloque internationale “les terroirs viticoles: concept, produit, valorisation” 17-18 juillet, Angers. France. 17-31.

MORLAT, R.; BARBEAU, G.; ASSELIN, C. 2001. Facteurs naturels et humains des terroirs viticoles français: method d'étude et valorization. *Etud. Rech. Syst. Agraires Dév.*, 32: 111-127.

NANCE, W. B. & TAYLOR, S. R. 1976. Rare earth element patterns and crustal evolution-I. Australian Post-Archean sedimentary rocks. *Geochemical Cosmochemical*. Vol 40. 1539-1551.

OIV. 2010. Resolución OIV/VITI 333/2010. Definición de Terroir Vitivinícola. Online. Disponible en: <http://www.oiv.int./js/lib/pdfjs/web/viewer.html?file=/public/medias/380/viti-2010-1-es.pdf>

OIV. 2011. Maximum acceptable limits of various substances contained in wine. Compendium of international methods of analysis - OIV.

ORTIZ, A. BOSSI, J. PEREA, D Y UBILLA, M. 2006. El Ensenadense en Uruguay: Propuesta de evolución paleoclimática. III Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología Actas de Trabajos Tomo I. Córdoba. 11- 21.

OSTERA, H.; CAGNONI, M.; WUNDERLIN, D.; PERAL GARCÍA, P.; GAUTIER, E.; GALLEGOS, E. y PANARELLO, H. 2010. The TRACE concept in Argentina: isotope tracing of food provenance. VII South American Symposium on Isotope Geology. Brasilia. 610-613.

OYHANTÇABAL, P. 2005. The Sierra Ballena Shear zone: kinematics, timing and its significance for the geotectonic evolution of southeast Uruguay. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultäten der Georg-August-Universität zu Göttingen. 147p. Disponible en: [https://ediss.uni-goettingen.de/bitstream/handle/11858/00-1735-0000-0006-B225-6/oyhantcabal\\_cironi.pdf?sequence=1](https://ediss.uni-goettingen.de/bitstream/handle/11858/00-1735-0000-0006-B225-6/oyhantcabal_cironi.pdf?sequence=1)

OYHANTÇABAL, P.; SIEGESMUND, S.; FREI, R.; WEMMER, K y LAYER, P. 2006. Timing of the Sierra Ballena transcurrent shear zone in the southern extreme of the Dom Feliciano Belt (Uruguay). Resumen. Internacional, V South American Symposium of Isotopic Geology. In: Actas V South American Symposium of Isotopic Geology. 232p. Montevideo. Disponible en: [www.vssagi.com/igcp478/AbstractsVSSAGI/232.pdf](http://www.vssagi.com/igcp478/AbstractsVSSAGI/232.pdf)

OYHANTÇABAL, P.; SIEGESMUND, S.; WEMMER, K; FREI, R.; LAYER, P. 2007. Post- collisional transition from clakaline to alkaline magmatism during transcurrent deformation in the southernmost Dom Feliciano Belt (Braziliano- Pan-African, Uruguay). Lithos, 98. 141-159.

PEREZ-TRUJILLO, JP.; BARBASTE, M. y MEDINA, B. 2002. Contents of trace and ultratrace element in wines from Canary Islands (Spain) as determined by ICP-MS. Journal of wine research 13(3):243-256

PETRINI, R.; SANSONE, L.; SLEJKO, F.; BUCCIANTI, A.; MARCUZZO, P y TOMASI, D. 2015. The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  strontium isotopic systematic applied to Glena vineyards: A trace for the geographical origin of the Prosecco. Food Chemistry. Vol 170. 138-144.

POHL, P. 2007. What do metals tell us about wine?. Trends in Analytical Chemistry. 26 (9). 941–949.

ROLLINSON. 1993. Using of geochemical data: evaluation, presentation and interpretation. Longman Group, England. 352p.

SAURINA, J. 2010. Characterization of wines using compositional profiles and chemometrics. *Trend in analytical chemistry*. Vol. 1-12.

SCHLESIER, K.; FAUHL-HASSEK, C.; FORINA, M.; COTEA, V.; KOCSI, E.; SCHOULA, R.; VAN JAARSVELD, F. y WITTKOWSKI, R. 2009. Characterization and determination of geographical origin of wines. Part I: overview. *Eur Food Res Technol*. 230. 1-13.

SHIELDS, G. 2007. The marine carbonate and chert isotope records and their implications for tectonics, life and climate on the early earth. *Developments in Precambrian Geology*, Vol. 15. Geologisch-Paläontologisches Institut. Westfälische-Wilhelms Universität. Germany.

SILVA, A & CAMEJO, C. 2009. Regiones vitícolas del Uruguay. Instituto de vitivinicultura, Departamento vitícola. Disponible en: <file:///C:/Users/Usuario/Usuario-PC/Documents/TESSIS%202015/Distribuci%C3%B3n%20de%20vi%C3%B1edos.pdf>

SMEYERS- VERBEKE, J.; JÄGER, H.; LANTERI, S.; BRERETON, P.; JAMIN, E.; FAUHL- HASSEK, C.; FORINA, M. y RÖMISCH, U. 2009. Characterization and determination of the geographical origin of wines. Part II: descriptive and inductive univariate statistics. *European food research and technology*. 230. 15- 29.

SMITH, J.; VANCE, D.; KEMP, R.A.; ARCHER, C.; TOMS, P.; KING, M. AND ZÁRATE, M. 2003. Isotopic constrains on the source of

Argentinian loess – with implications for atmospheric circulation and the provenance of Antarctic dust during recent glacial maxima. *Earth and Planetary Science Letters*. 212. 181-196.

SPOTURNO, J.; OYHANTÇABAL, P.; GOSO, C.; CAZAUX, S.; AUBET, N.; HUELMO, S.; MORALES, E.; PIÑEIRO, A y MARTÍNEZ, G. 2005. Mapa geológico del departamento de Canelones a escala 1/100.000. Proyecto CONICYT 6019- Fondo Clemente Estable. Memoria explicativa.

SPOTURNO, J.; LOUREIRO, J.; OYHANTÇABAL, P y PASCALE, A. 2012. Mapa geológico del departamento de Maldonado a escala 1/100.000. Proyecto: mapas geológicos departamentales a escala 1: 100.000. Memoria explicativa.

TAYLOR, S.R. & MCLENNAN, S.M. 1985. *The Continental Crust; Its composition and evolution; an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks*. Blackwell, Oxford. 312.

TAYLOR, V.; LONGERICH, H. y GREENOUGH, J. 2002. *Geology and wine 5. Provenance of Okanagan Valley Wines, British Columbia, using trace elements: promise and limitations*. *Geoscience Canada*. Vol. 29 (3). 110-120.

TESCIONE, I.; MARCHIONNI, S.; MATTEI, M.; TASSI, F.; ROMANO, C. AND CONTICELLI, S. 2015. A comparative  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  study

in Red and White wines to validate its use as geochemical tracer for the geographical origin of wine. *Procedia Earth and Planetary Science* 13. 169 – 172

THIEL, G.; GEISLER, G.; BLECHSCHMIDT, I. AND DANZER, K. 2004. Determination of trace elements in wines and classification according to their provenance. *Anal Bioanal Chem.* 378: 1630–1636.

TROUW, R. & PASCHIER, D. 2010. Atlas of mylonites- and related microstructures. Springer. Germany. 322p

UBILLA, M. & PEREA, D. 1999. Quaternary vertebrates of Uruguay: biostratigraphic, biogeographic and climatic overview. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 12: 75-90.

VILLANUEVA, R. 1993. Exposición mantenida a bajas dosis de plomo. Un modelo experimental. Tesis doctoral. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

VINCIGUERRA, V.; STEVENSON, R; PEDNEAULT, K. AND POIRIER, A.; HÉLIE, J. AND WIDORY, D. 2015. Strontium Isotope Characterization of Wines from the Quebec (Canada) *terroir*. *Procedia Earth and Planetary Science* 13. 252 – 255.

WHITE, W.M. 2000. *Geochemistry*. Cornell University.

WILSON, J. 1998. *Terroir*. The role of geology, climate, and culture in the making of French Wines. (on line) University of California Press Berkeley, California. 336 p.