

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
Y MUSEO**

—♦♦♦—
PROGRAMAS
—♦♦♦—

AÑO 2014

Cátedra de PETROLOGÍA ESPECIAL

Profesor DR: ARAGON, EUGENIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO

PROGRAMA DE LA ASIGNATURA OPTATIVA: PETROLOGIA ESPECIAL

Tipo de régimen: Tradicional según reglamento y cursada especial teórico-práctica

Carga horaria: 4 horas semanales

Carga horaria global: 91 horas

Profesor Titular: Dr. Eugenio Aragón

Profesor Adjunto: Dra. Emilia Aguilera

2.- Contenido global del curso y fundamentación de la inserción de la materia en el diseño curricular vigente, en relación a su articulación con otras asignaturas.

El enfoque de los estudios en petrología ígnea y petrogénesis, conduce a incorporar conocimientos en un marco geodinámico global. La petrología ígnea se ocupa de:

- ✓ caracterizar la composición y la evolución del fundido.
- ✓ establecer la afinidad magmática.
- ✓ formular el proceso (cristalización fraccionada, asimilación, fusión parcial).
- ✓ identificar el tipo de reservorio magmático (ámbito de generación, tasa de fusión y su ambiente geodinámico a escala de manto/litósfera).
- ✓ realizar una modelización según criterios de geoquímica elemental, y/o geoquímica isotópica, para proponer un marco geodinámico para los procesos ígneos.

La caracterización composicional de las rocas ígneas supone integrar los datos de la petrología con la geoquímica elemental (**articulación con otras asignaturas: petrología I y geoquímica**). La finalidad de los estudios petrológicos consiste en:

- ✓ establecer las asociaciones minerales de las etapas de la cristalización del magma para acceder a la historia completa del proceso magmático.
- ✓ identificar y cuantificar la composición química de los minerales componentes (técnicas de microscopía y análisis por microsonda electrónica) puesto que la composición química mineral y su abundancia (proporción modal) deberá coincidir con el quimismo en su roca total (elementos mayoritarios y trazas).
- ✓ obtener datos sobre las temperaturas de cristalización de acuerdo con los criterios texturales (secuencia de cristalización) y los datos de composición química para los minerales en equilibrio incorporando técnicas de geotermometría adecuadas.
- ✓ determinar la afinidad del magma (alcalino, toleítico, calcoalcalino, etc.) a partir de las asociaciones minerales características y de la composición química con determinados elementos discriminantes.
- ✓ formular la evolución del proceso a partir de la variación en composición mineral desde los líquidos menos diferenciados (tempranos) a más diferenciados (tardíos). Inferir otros parámetros físico-químicos (carácter oxidante/reductor, fugacidad de oxígeno, etc.) a partir de la composición de los minerales en cada una de las etapas establecidas.

Por todo ello la investigación en rocas ígneas requiere conocer y saber aplicar las técnicas de estudio a escala de composición mineral y sus relaciones con la composición en roca total. De esta manera articula con otras materias relacionadas, como Mineralogía, Petrología I y



Geoquímica. Como objetivo principal de esta asignatura, se pretende que el alumno aprenda a obtener e interpretar, en términos petrogenéticos, los datos de composición mineral, tanto en elementos mayoritarios como traza.

3.- Metas y objetivos generales que se espera alcance el alumno al finalizar toda la materia, y específicos en cada unidad temática.

Las metas de la materia Petrología Especial, consisten en profundizar objetivos generales de la petrología ígnea desarrollados en la materia de grado (Petrología I) así como incorporar objetivos específicos no tratados allí. Como es el caso de la introducción de nuevas herramientas de trabajo en el estudio de las rocas ígneas y la incorporación de estudios experimentales. Discusión y profundización de esquemas (modelos) relativos al origen y evolución de los magmas en distintos ambientes geotectónicos, ilustrados con la discusión de estudios concretos en diferentes lugares del planeta. En el transcurso del dictado de la materia se utilizan diversos softwares de aplicación en petrología.

Esta asignatura permitirá al alumno obtener una formación específica en los métodos de trabajo empleados en estudios petrogenéticos y geoquímicos de rocas ígneas. Se trata por lo tanto de una asignatura que permite al alumno especializarse en este campo de conocimiento, perfectamente delimitado y para aquellos alumnos que quieran continuar sus estudios realizando una tesis doctoral sobre rocas endógenas, supone sentar las bases para abordar este objetivo con la formación adecuada.

Objetivos Específicos

- ✓ Seleccionar las técnicas analíticas para el análisis mineral, partiendo de los requerimientos específicos de cada técnica, de su grado de confianza y del modo de interpretar sus resultados.
- ✓ Analizar, validar e interpretar los resultados de los análisis minerales y relacionarlos con el comportamiento de los sistemas ígneos.
- ✓ Aplicar los resultados a la definición de parámetros de evolución composicional de los minerales y de los magmas implicados (coeficientes de reparto, estudios de diferenciación).
- ✓ Cuantificar los parámetros intensivos (presión, temperatura, fugacidad de oxígeno) alcanzados durante la evolución de los magmas, tanto en contextos de fusión como de cristalización. Esto se realizará a partir del estudio de la composición de sus minerales y de sus estados de equilibrio.

4.- Contenidos de la materia presentados en unidades temáticas y fundamentación de la selección de los mismos.

PROGRAMA ANALÍTICO

TEMA 1

Teórico: Análisis por microsonda electrónica: criterios analíticos y elección de rutinas (mayores y trazas) según las fases minerales.

Práctico: Análisis por microsonda electrónica (ME). Configuraciones de análisis y selección de patrones y líneas espectrales. Errores y precisión en los análisis por microsonda. Validación de análisis.

TEMA 2

Teórico: Bases cristaloquímicas con significado genético en minerales ígneos comunes: olivino, piroxenos, anfíboles, micas, plagioclasa, feldespatos y feldespatoides, granate, opacos, minerales accesorios.

Práctico: Cálculo de fórmulas estructurales a partir de los análisis por ME: olivino, piroxenos, granate, filossilicatos, anfíboles, epidoto, feldespatos, feldespatoides y otros minerales. Aproximaciones a las proporciones de Fe ⁺⁺ y Fe ⁺⁺⁺ en minerales ferromagnesianos.

TEMA 3

Teórico: Tratamiento de resultados cuantitativos en asociaciones de rocas básicas para series diversas (alcalina, toleítica, calco-alcalina y potásica): fórmula estructural, clasificación, sustituciones, evolución del líquido y afinidad magmática.

Práctico: Estudio de relaciones composicionales: relación composición-estructura: llenado de posiciones estructurales; equilibrio eléctrico, sustituciones y vacancias.

Evolución composicional, variaciones en los mecanismos sustitucionales. Integración de parámetros evolutivos obtenidos de diferentes minerales en una misma roca.

Aplicación de la composición al estudio de series de rocas ígneas: afinidad, condiciones de evolución, procesos petrogenéticos.

TEMA 4

Teórico: Concepto de geotermobarometría. Elección y aplicaciones de diversos termómetros. Elección y aplicaciones de barómetros. Inferencia de las condiciones redox. Inferencia de pulsos magmáticos sucesivos. Relaciones de desequilibrio.

Práctico: Termobarometría: verificación de los estados de equilibrio a partir de análisis de asociaciones minerales. Termómetros y barómetros mineral-mineral, basados en reacciones de intercambio y de transferencia neta. Termómetros mineral-líquido y aplicación a la fugacimetría e higrometría.

TEMA 5

Teórico: Identificación de procesos de mezcla. Relaciones de quimismo mineral y su roca total: uso de programas para rocas de series magmáticas diversas.

Práctico: Análisis por LA-ICP-MS (LA: *Laser Ablation*- ablación laser-ICP-MS *Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry* -Espectrometría de masas con plasma acoplado por inducción). Estudio de las pautas de composición mineral en elementos traza. Coeficientes de reparto. Aplicación al estudio de procesos ígneos.



TEMA 6

Teórico: Análisis por LA-ICP-MS: criterios analíticos, elección de rutinas y tratamiento de datos para composiciones elementales e isotópicas. Interés y aplicaciones en minerales accesorios comunes (monacita, circón, etc.). Aplicaciones geocronológicas y evaluación de datos en minerales y su roca total.

Práctico: Análisis por LA-ICP-MS. Estudio de las pautas de composición mineral en elementos traza. Coeficientes de reparto. Aplicación al estudio de procesos ígneos. Aplicación a la geocronología.

FUNDAMENTACIÓN

Los estudios de química mineral se realizan, de manera habitual, por **microsonda electrónica** con aplicación de programas adecuados que, a partir de los análisis químicos, facilitan:

- ✓ calcular la fórmula estructural de cada especie mineral lo que permite, clasificar los minerales y, para cada mineral, formular la evolución de su composición a lo largo del proceso de cristalización a través de la evolución del líquido.
- ✓ identificar elementos químicos que sustituyen a los característicos componentes del mineral cuyo estudio facilita reconocer las condiciones genéticas –composición y procesos- que regulan estas sustituciones.
- ✓ con base a la composición de minerales en equilibrio, es posible determinar la temperatura (y/o presión) del proceso (geotermómetros/geobarómetros) lo que, aplicado a un conjunto de rocas, permite inferir las condiciones de cristalización del proceso global.
- ✓ identificar la afinidad magmática a partir de la composición establecida en minerales claramente discriminantes y, en determinados casos, es posible, obtener información sobre el contexto geodinámico (cristalización en ambiente orogénico/no orogénico) y, entre otros aspectos, establecer estudios físico-químicos particulares sobre el proceso magmático (carácter redox y su evolución, etc.). En la actualidad, los equipos de microsonda electrónica permiten analizar, además de todos los elementos mayoritarios un amplio número de elementos trazas tanto compatibles como incompatibles (p.e., Ni, Cr, Co, V, Ba, Sr, Y, etc.) y tierras raras (La, Ce, Nd, etc.) en los minerales accesorios y esta información es de gran utilidad para estudiar los coeficientes de reparto de los elementos y extraer una información valiosa sobre las relaciones mineral/líquido que son la base de estudios petrogenéticos especializados.

En la actualidad, las técnicas de Láser-ICP-MS aplicadas a minerales permiten acceder a nuevos datos como es el caso de dataciones radiométricas en determinados minerales o bien el análisis de elementos traza (incluidas las tierras raras) lo que, ciertamente, amplía la información a obtener.

Los estudios de química elemental en roca total (empleo combinado de las técnicas de XRF e ICP-MS) corroboran, de una parte, la información obtenida por química mineral en las asociaciones minerales pero, además, permiten abordar estudios más completos al considerar los elementos traza que, efectivamente,

- ✓ registran el proceso completo (clasificación geoquímica, diferenciación y evolución del líquido),
- ✓ facilitan una mejor caracterización (establecimiento de la afinidad magmática),
- ✓ identificación del proceso (cristalización, ACF, fusión parcial), permite conocer la fuente (manto litosférico/astenosférico) y sus características particulares así como formular hipótesis sobre el posible marco geodinámico y, en definitiva, conducen a la modelización geoquímica.

El desarrollo creciente de las técnicas en geoquímica de rocas ígneas (FRX, ICP-MS) proporciona, con creciente sensibilidad y precisión, una amplia información (casi todos los elementos) que con el posterior empleo de programas especializados permite desarrollar cada

una de las etapas enumeradas. Existen en la actualidad programas "ad hoc" de tratamiento de datos que facilitan desarrollar gran parte de las tareas básicas (clasificación geoquímica, establecer la diferenciación, estudiar las pautas de concentración y distribución para cada uno de los elementos o grupos de elementos que pueden ser relacionados con las concentraciones de composiciones de referencia, etc.) y, para estudios más avanzados, hay disponibles programas de modelización sobre procesos (cristalización fraccionada, ACF, fusión parcial, etc.).

Las metodologías enumeradas en petrología (con especial énfasis en la química mineral) y en geoquímica elemental requieren un contraste entre sí y, de hecho, son dos facetas complementarias de un mismo problema. Evidentemente, la geoquímica isotópica amplía, y asegura, las soluciones a obtener cuando se trata de caracterizar un proceso ígneo, identificar la fuente (p.e., manto enriquecido/manto deprimido) lo que permite identificar, con mayor precisión, el proceso ígneo y es un instrumento poderoso para la modelización de dicho proceso ígneo desde la fuente de generación hasta su cristalización final. La incorporación de las técnicas de geoquímica isotópica son parte relevante de un estudio petrológico debido a la necesidad, indicada al inicio, de obtener una información relevante en términos de la geodinámica global.

La combinación de los enfoques indicados no se agota en conocer los materiales y procesos en un área concreta, y para un valor temporal (edad de cristalización) sino que, permite formular un marco geodinámico.

El conjunto de estos conocimientos tiene consecuencias importantes en geología como es el caso de abordar el estudio de procesos que afectan a la dinámica terrestre tales como la convección mantélica, la generación de los magmas, el reciclado de la litosfera en zonas de subducción, la emigración hacia la litosfera de fundidos procedentes de la astenósfera, etc. A su vez, en otro contexto, el conjunto temporal ordenado de estos conocimientos, en un amplio dominio de áreas, permite abordar temas tan interesantes como es el caso de establecer el origen y el crecimiento de la corteza y del manto que, ciertamente, son la base de los estudios sobre la evolución de la Tierra.

5.- Contenidos a desarrollar, según unidades temáticas, en teóricos, trabajos prácticos y otras modalidades llevadas a cabo por la cátedra: seminarios, salidas de campo, visitas, monografías, trabajos de investigación, etc.

Los contenidos a desarrollar según unidades temáticas, están explícitamente incluidos en el apartado anterior en donde se ha presentado el programa analítico y su fundamentación de la materia Petrología Especial. Este programa es teórico-práctico en el que se incluyen actividades desarrolladas con microscopio petrográfico y computadora, donde se trabajará con programas y procedimientos de cálculo específicos para el estudio de la composición mineral y en roca total, cálculos de parámetros relevantes en petrogénesis y termobarometría.

6.- Metodología a utilizar en las diferentes actividades de la materia y su fundamentación.

Dado el enfoque esencialmente metodológico y aplicado de esta asignatura, las actividades de aprendizaje diseñadas intentan equilibrar los contenidos teóricos con su aplicación práctica y están orientadas específicamente a que el alumno adquiera las bases para poder desarrollar un trabajo de investigación que implique la obtención e interpretación de datos de composición mineral, aplicados a rocas ígneas.

La metodología de trabajo se basa en la aplicación de técnicas petrológicas y geoquímicas a distintas escalas. Se impartirán clases teórico-prácticas participativas, para cada uno de los temas tratados, se realizará una exposición de los contenidos teóricos con posterior aplicación de dichos contenidos a casos concretos de trabajos, bien de elaboración del grupo docente o publicados en reconocidas revistas de la especialidad, motivando al estudiante a valorar su grado de comprensión de la materia mediante el análisis de dichos casos.



7.- Recursos materiales necesarios para el dictado de la materia.

El material didáctico básico son los Microscopios petrográficos y cortes delgados de rocas, y computadoras. Se trabajará sobre temas de investigación petrológica desarrollados por el titular de la materia y otros tomados de publicaciones en reconocidas revistas de la especialidad. Se utilizarán tablas de excell para clasificación de rocas, así como diagramas y software específicos. Se realizan por parte del equipo docente presentaciones Power Point en todas las clases (computadora y cañón).

8.- Formas y tipos de evaluación.

La metodología de evaluación conforme a la actividad propuesta grupal o individual, apunta a evaluar no sólo el resultado en sí, sino la comprensión lectora, la interpretación de consignas y la metodología para abordar el trabajo.

Se evalúa la participación en clase y los informes de resultados de las prácticas..Cada 3 unidades temáticas se tomará un examen parcial. Se aprobará la materia a través de la evaluación de un informe final que constará de un trabajo personal cuyo objetivo será la convergencia de los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de la materia Petrología Especial. En este informe el alumno deberá proponer un modelo de cristalización para un conjunto de rocas ígneas capaz de explicar sus variaciones composicionales y texturales, así como la evolución genética, de igual forma que se buscará entender por qué hay modelos más certeros que otros y la implicancia de sus diferencias. La propuesta contempla el cumplimiento del artículo 6 del reglamento de cursadas de regímenes especiales.

Las evaluaciones propuestas permiten evaluar capacidades de los alumnos, nivel de conocimientos y estrategias intelectuales que tomamos de indicadores para predecir rendimientos y actividades de recuperación.

9.- Bibliografía a utilizar.

El alumno cuenta con bibliografía consistente en libros de textos y revistas que abordan la petrología experimental.

BIBLIOGRAFIA POR TEMA

TEMA 1

- Best, M.G., y Christiansen, E.H. (2001), Igneous Petrology, Blackwell Science Inc., Oxford, 458 pp..
- McBirney, A.R., (1984), Igneous Petrology-Freeman Cooper & Company, San Francisco, 504 pp.
- Hess P.C. (1989) Origin of Igneous Rocks. Harvard University Press, Cambridge, 335 pp.
- Bence, E. & Albee, A. (1968). Empirical correction factors for the electron microanalysis of silicates and oxides. Journal of Geology, Vol. 76, pp.382-403

TEMA 2

- Bence, E. & Albee, A. (1968). Empirical correction factors for the electron microanalysis of silicates and oxides. Journal of Geology, Vol. 76, pp.382-403
- Best, M.G., y Christiansen, E.H. (2001), Igneous Petrology, Blackwell Science Inc., Oxford, 458 pp..



- Deer, W.A., Howie, R.A. y Zussman, J. (1992). An introduction to the rock-forming minerals. 2nd ed. Longman Scientific & Technical, 696 pp.
- McBirney, A.R., (1984), Igneous Petrology-Freeman Cooper & Company, San Francisco, 504 pp.
- Hibbard M.J. (1995) Petrography to Petrogenesis. Prentice Hall, New Jersey, 587 pp.
- MacKenzie W.S., Donaldson C.H. & Cuilford C. (1982) Atlas of Igneous Rocks and their Textures. Longman, New York. 148 pp.

TEMA 3

- Aragón, E., (2009), La Clasificación de las rocas ígneas y el equilibrio sólido-líquido. Archivo formato Pdf, Facultad de Ciencias Naturales y Museo
- Best, M.G., y Christiansen, E.H. (2001), Igneous Petrology, Blackwell Science Inc., Oxford, 458 pp..
- Faure, G. (1986). "Principles of Isotope Geology" - John Wiley and Sons - 589 pp.
- Hibbard, M.J. (1995) Petrography to Petrogenesis. Prentice Hall, New Jersey, 587 pp.
- Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M.J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lameyre, J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., y -- Wooley, A.R., (2001), Igneous Rocks, A Clasification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcomission of Igneous Rocks. University Press
- McBirney, A.R. (1984) Igneous Petrology-Freeman Cooper & Company, San Francisco, 504 pp.
- Rollinson, H. R. (1993) Using Geochemical Data. Evaluation, Presentation, Interpretation. England, Longman Scientific & Technical, 352 p.

TEMA 4

- Best, M.G., y Christiansen, E.H. (2001), Igneous Petrology, Blackwell Science Inc., Oxford, 458 pp..
- McBirney, A.R., (1984), Igneous Petrology-Freeman Cooper & Company, San Francisco, 504 pp.
- Hess P.C. (1989) Origin of Igneous Rocks. Harvard University Press, Cambridge, 335 pp.
- Yoder, H.S. (1979). The Evolution of Igneous Rocks, Princeton University Press, New Jersey, 588 p.p.
- Hargraves, R.B. (1980) Physics of Magmatic processes, Princeton University Press New Jersey, 585 p.p.

TEMA 5

- Best, M.G., y Christiansen, E.H. (2001), Igneous Petrology, Blackwell Science Inc., Oxford, 458 pp..
- Hargraves, R.B. (1980) Physics of Magmatic processes, Princeton University Press New Jersey, 585 p.p.



- McBirney, A.R., (1984), Igneous Petrology-Freeman Cooper & Company, San Francisco, 504 pp.
- Pitcher W.S. (1993). The Nature and Origin of Granite, Blackie, London. 321pp.

TEMA 6

- Sylvester, P. (Ed.)(2001): Laser Ablation ICPMS in the Earth Sciences: Principles and Applications, Mineralogical Association of Canada Short Course Series Vol. 29, ED. Mineralogical Association of Canada, St John's, Newfoundland, 243 pp.

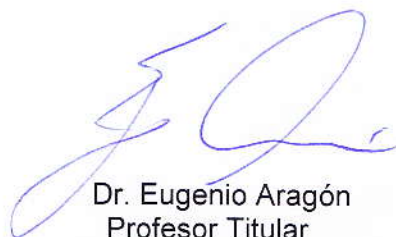
10.- Duración de la materia y cronograma con la distribución del tiempo para cada actividad, y responsables de cada una.

La materia está incluida en el régimen de cursada semestral.

Carga horaria total (mínima): 16 hs de clases teóricas y 75 hs de trabajos prácticos se incluyen los espacios de evaluaciones parciales y recuperatorios, y los espacios de elaboración del trabajo final.

Los responsables de la materia son el Dr. Eugenio Aragón, Profesor Titular, con extensión a semi-dedicación y la Dra. Emilia Yolanda. Aguilera, Profesora Adjunta de la cátedra con semi-dedicación.

La Plata, 2 de julio de 2014.



Dr. Eugenio Aragón
Profesor Titular

LA PLATA, 7 de julio 2014



Sr. Decano de la Facultad de
Ciencias Naturales y Museo
Dr. Ricardo Etcheverry
SU DESPACHO



Me dirijo a Ud., a fin de elevar programa de la asignatura
optativa: Petrología Especial para su tratamiento.

Sin otro particular, le saludo atentamente.

Dr. Eugenio Aragón
Prof. Titular
Petrología I

earagon@cig.museo.unlp.edu.ar



SECRETARIA ACADÉMICA 3/17/14 PASE AL HONORABLE
CONSEJO DIRECTIVO

Paula Elena Posadas

Dra. PAULA ELENA POSADAS
Secretaria de Asuntos Académicos
Fac. Cs. Naturales y Museo



Expte 1000-001081/14

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES y MUSEO
Calle 122 y 60 – 1900 – La Plata – Argentina

El Consejo Directivo, en sesión ordinaria del 12 de Diciembre de 2014, por el voto positivo de dieciséis de sus dieciséis miembros presentes y atento la presentación del **Dr. Eugenio Aragón**, aprobó el Programa de contenidos de la asignatura **Petrología Especial**.

Pase a sus efectos a la Secretaría Administrativa.

Dra. PAULA ELENA POSADAS
Secretaría de Asuntos Académicos
Fac. Cs. Naturales y Museo



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
Y MUSEO

Calle 122 y 60 – 1900 – La Plata – Argentina

Expte. N° 1000-1081/14

///La Plata, 20 FEB 2015

VISTO;

que por las presentes actuaciones se tramita la presentación del Dr. Eugenio Aragón del Programa de la Asignatura *Petrología Especial*

CONSIDERANDO;

que la Comisión de Enseñanza sugiere aprobar el programa;
que este cuerpo por el voto positivo de dieciséis de sus dieciséis miembros presentes, aprobó la presentación del Dr. Eugenio Aragón

ATENTO;

a las atribuciones conferidas por el art. 80° inc. 1) del Estatuto de la UNLP;

Por ello;

EL CONSEJO DIRECTIVO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO

RESUELVE:

ARTICULO 1°.- Aprobar el Programa de contenidos de la Asignatura *Petrología Especial* presentado por el Dr. Eugenio Aragón

ARTICULO 2°.- Regístrese por Secretaría Administrativa. Cumplido notifíquese al Dr. Eugenio Aragón y pase a la Dirección de Profesorado y Concursos a sus efectos. Hecho, gírese a sus efectos a Biblioteca y resérvese hasta su oportuno archivo.

j.m.l.
f.b.m.

RESOLUCIÓN CD N°: 35-15
FECHA DE SESIÓN: 12/12/2014

Ricardo Oscar Etcheverry
Dr. RICARDO OSCAR ETCHEVERRY
DECANO
Facultad de Cs. Naturales y Museo

Paula Elena Posada
Dra. PAULA ELENA POSADA
Secretana de Asuntos Académicos
Fac. Cs. Naturales y Museo