



Universidad Nacional de Río Cuarto  
Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales

## FORMULARIO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROGRAMAS DE ASIGNATURAS

Año Lectivo: 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FÍSICO-QUÍMICAS Y NATURALES  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**CARRERA/S:** Licenciatura en Geología

**PLAN DE ESTUDIOS:** V.2022

**ASIGNATURA:** GEOQUÍMICA ISOTÓPICA Y DE CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS

**CÓDIGO:** 3288

**MODALIDAD DE CURSADO:** Presencial

**DOCENTE RESPONSABLE:**

Dra. Adriana Cabrera - Doctora en Cs. Geológicas, PAS Exclusiva.

**EQUIPO DOCENTE:** (Nombre y Apellido, Grado Académico, Cargo y Dedicación)

Dra. Adriana Cabrera - PAS-DE

Dra. Fátima Bécher Quinodóz – JTP Simple (suplencia)- Investigadora Asistente CONICET

Lic. Santiago Prámparo- Licenciado en geología, AY1 DS (suplencia), becario doctoral CONICET.

**RÉGIMEN DE LA ASIGNATURA:** Cuatrimestral

**UBICACIÓN EN EL PLAN DE ESTUDIO:** Quinto año de la Carrera / 2º Cuatrimestre

**RÉGIMEN DE CORRELATIVIDADES:**

Asignaturas aprobadas: ----

Asignaturas regulares: **Geohidrología (3268)**

**CARÁCTER DE LA ASIGNATURA:** Optativa

**CARGA HORARIA TOTAL:**56 horas (según el plan de estudio vigente)

Teóricas:	.... hs	Prácticas (Campo):	6 hs	Teóricas - Prácticas:	50 hs	Laboratorio:	.... hs
-----------	---------	-----------------------	------	--------------------------	-------	--------------	---------

**CARGA HORARIA SEMANAL:** 4 horas



<b>Teóricas:</b>	<b>.... hs</b>	<b>Prácticas (1 día viaje de campo):</b>	<b>6 hs</b>	<b>Teóricas - Prácticas:</b>	<b>4 hs</b>	<b>Labora torio:</b>	<b>.... hs</b>
------------------	--------------------	--	-------------	----------------------------------	-------------	--------------------------	----------------

## 1. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA ASIGNATURA

La asignatura integra el grupo de materias optativas del Plan de estudio de la carrera de *Licenciatura en Geología*, pudiendo los estudiantes optar por cursarla a partir del 5° año de estudios. La asignatura pretende que el estudiante se forme más acabadamente en los procesos geoquímicos vinculados al comportamiento y utilidades de estudio de determinados isótopos en el agua ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ) así como de procesos de contaminación que producen cambios en la geoquímica de las aguas naturales y modelación geoquímica. La construcción de los conceptos es global en las primeras clases, se torna analítica durante el transcurso de la materia y sintética al finalizar. De esta manera la asignatura está organizada para atravesar tres etapas que son comparables a las etapas cognoscitivas de los alumnos: sincrética (impresiones generales), analítica y sintética. Se trabaja con situaciones problemática que permitan la reflexión crítica, a partir de ejercicios enlazados que van construyendo los diferentes procesos que permiten identificar origen, recarga, conexiones hidráulicas entre sistemas hidrológicos y de aquellos que actúan en una pluma contaminante de manera tal que el alumno pueda interrelacionar todas las variables intervinientes.

Se pretende que el estudiante se familiarice en un proceso de búsqueda orientada, a partir de situaciones problemáticas dentro de un esquema conceptual coherente, que les permita adquirir conocimientos totalmente significativos para su perfil profesional, de modo que puedan desarrollar estrategias y habilidades para resolver situaciones concretas que se le presenten y que definan posibles soluciones a problemas ambientales de la región. Se favorece de este modo un marco reflexivo y crítico para que el alumno establezca la importancia del conocimiento que aporta la geoquímica isotópica y transporte de contaminantes del agua en el sub-ciclo subterráneo como superficial.

Desde el punto de vista del perfil del egresado, la modalidad de trabajo y los temas que se desarrollan aseguran al alumno, futuro profesional, el aprendizaje de conocimientos y adquisición de habilidades en la temática de la geoquímica isotópica y de contaminación de agua en general y de acuíferos en particular que se encuentran en sus incumbencias profesionales. La modalidad de la materia le permitirá, con conceptos y técnicas modernas, poder desempeñarse en cualquier ámbito de trabajo. Se espera, como requisito previo para los alumnos, que lleguen a la asignatura con conocimientos básicos del medio físico (tipos de rocas y sedimentos, mineralogía de los mismos, aspectos estructurales que los afectan, etc.) en el que el agua se mueve y algunas técnicas de prospección. Además, se requieren conocimientos específicos de química del agua e hidráulica, lo que se cumple, dadas las materias requeridas como regulares para el cursado.

Los criterios de selección de contenidos, actividades y las formas de evaluación están basados en aspectos técnicos propios de la disciplina y pedagógicos. Los contenidos y actividades se centran en los aspectos centrales de los procesos hidrológicos dinámicos y químicos, que habilitarán a los alumnos en el entendimiento de los mismos y en el ejercicio profesional, para resolver problemáticas vinculadas a la contaminación de aguas. En ese sentido las actividades han sido montadas, sobre la base de la experiencia profesional y docente de los encargados del dictado y de los requerimientos mínimos técnicos de la disciplina. La forma de evaluación, que se explica más abajo, está basada en criterios pedagógicos, vinculados a cómo los alumnos construyen el conocimiento y se evalúa integralmente relacionando variables en situaciones problemas, del mismo modo en que la materia se dicta.



## 2. OBJETIVOS PROPUESTOS

1.- **Objetivo conceptual:** Facilitar la adquisición de conocimientos que les permitan a los alumnos comprender el comportamiento y las utilidades de efectuar estudios isotópicos que permitan identificar origen, recarga, conexiones hidráulicas entre sistemas hidrológicos, así como los procesos que gobiernan el origen, transporte y destino de contaminantes en aguas, especialmente subterráneas, todo en el marco de la modelación numérica geoquímica de transporte de solutos en general y de contaminantes en particular.

### Objetivos específicos:

- Comprender los aspectos más relevantes asociados a la geoquímica isotópica de aguas, de manera de razonar más acabadamente sobre origen, recarga, jerarquía de flujos, conexiones hidráulicas y fuentes contaminantes.
- Comprender los principales procesos que gobiernan el transporte de contaminantes en aguas, con énfasis en las subterráneas, en ecosistemas creados y naturales.
- Diferenciar el comportamiento de contaminantes en zona no saturada y zona saturada
- Evidenciar la necesidad de la información geológica, hidrodinámica e hidroquímica del medio impactado para entender el escenario de contaminación.
- Conocer características generales de los productos que contaminan sistemas hidrológicos y las actividades humanas que los producen.
- Profundizar técnicas de estudio y monitoreo de ecosistemas acuáticos, especialmente acuíferos, cuando se investigan escenarios de contaminación.
- Evidenciar la necesidad de considerar a los estudios de contaminación, como un conflicto ambiental, de suma complejidad.
- Modelar numéricamente la evolución geoquímica y el transporte de contaminantes en agua subterránea.

2.- **Objetivo Procedimental:** Se tratará de favorecer el análisis crítico de situaciones vinculadas a origen, recarga, conexiones hidráulicas y contaminación de aguas con apoyo de isótopos, así como de desarrollar ejercicios prácticos, para el análisis y definición de escenarios de contaminación y su posible resolución.

3.- **Objetivo Actitudinal:** Favorecer un marco reflexivo para que el estudiante descubra la necesidad de estudios sistémicos e interdisciplinarios y desde la ética ambiental, en situaciones concretas de contaminación de diverso origen en aguas, especialmente subterráneas.

## 3. EJES TEMÁTICOS ESTRUCTURANTES DE LA ASIGNATURA Y ESPECIFICACIÓN DE CONTENIDOS

### 3.1. Contenidos mínimos (según plan de estudio vigente)

-Hidrología isotópica: especies isotópicas estables del agua ( $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$ ), fraccionamiento, efectos de altitud, continental, latitud, variaciones estacionales, de cantidad, recta meteórica global y local, estudios de casos. Especies isotópicas radiactivas del agua ( $^3\text{H}$  y  $^{14}\text{C}$ ): edad y tiempo de residencia



Universidad Nacional de Río Cuarto  
Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales

del agua en los distintos ambientes hidrológicos. Isótopos de utilidad para identificar fuentes contaminantes ( $^{15}\text{N}$  y  $^{18}\text{O}$  del  $\text{NO}_3^-$ ).

-Procesos de contaminación de acuíferos: Definición espacial y temporal de plumas de contaminación. Caracterización de los contaminantes según su comportamiento geoquímico. Comportamiento de contaminantes en zona saturada y zona no saturada. Transporte de contaminantes (advectivo, dispersivo-difusivo, reactivo). Tipos de estudio en la exploración de aguas subterráneas, métodos auxiliares, hidrogeológicos propiamente dichos y técnicas especiales (isótopos, temperatura, etc.) en casos de contaminación. Muestreo de aguas y técnicas de estudio de la contaminación. Monitoreo de plumas contaminantes en acuíferos.

-Modelación geoquímica de acuíferos. Modelos directos e inversos. Usos de software específicos (Netpath, Phreqc). Definición de variables y de fases. Interpretación de resultados. Modelación de contaminación con software (Ogata Banks, etc.)

### 3.2. Ejes temáticos o unidades

La asignatura está planteada a través de un concepto estructurante ambiental típico que es la concatenación de los procesos geológicos con aquellos isotópicos en el ciclo hidrológico y los de contaminación relacionados. Es decir, es una temática ambiental paradigmática considerando la interrelación actividades humanas – sistema natural. La construcción de este concepto estructurante es global en las primeras clases, tornándose analítica durante el transcurso de la materia y sintética al finalizar. De este modo, y desde un punto de vista cognoscitivo, los contenidos y actividades de la asignatura se organizan de una manera tal que permita al alumno superar progresivamente la etapa inicial sincrética (de impresión general) y avanzar hacia procesos analíticos y sintéticos. Además, y para evitar la adquisición dispersa y poco significativa de conocimientos se trabaja en una situación problema en un lugar geográfico determinado para que los alumnos puedan allí realizar las abstracciones y las aplicaciones necesarias que le permitan el mejor entendimiento de la dinámica exógena y específicamente del comportamiento de isótopos y acuíferos contaminados. De este modo, la asignatura está estructurada en 3 módulos principales. El primero de ellos está vinculado a la geoquímica isotópica y su aplicación al ciclo hidrológico. El segundo está destinado a la modelación geoquímica básica de acuíferos y el tercero a comprender y modelar procesos de contaminación, integrando finalmente todos los conceptos en una zona problema.

## PROGRAMA ANALITICO

### CONTENIDOS

#### **Módulo I:** Geoquímica isotópica y su aplicación al ciclo hidrológico

Tema 1: Isótopos estables: Definición y utilidades de los isótopos estables. Especies isotópicas del agua en la naturaleza ( $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$ ). Fraccionamiento isotópico del agua en la naturaleza. Destilación Rayleigh. Efectos de altitud, continental, latitud, variaciones estacionales, de cantidad. Recta meteórica global y local. Recta de evaporación. Diagramas de desviación isotópica  $\delta^{18}\text{O}$  vs  $\delta^2\text{H}$ . Aplicación de técnicas isotópicas.  $^3\text{H}$  en el ciclo hidrológico. Estudios de casos.

Tema 2: Isótopos radiactivos: Definición y utilidades de los isótopos radiactivos ( $^3\text{H}$  y  $^{14}\text{C}$ ). Tipos de decaimiento radiactivo. Estabilidad nuclear. Período de semidesintegración. Edad y tiempo de



Universidad Nacional de Río Cuarto  
Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales

residencia del agua en los distintos sistemas hidrológicos.<sup>3</sup>Hen el ciclo hidrológico.<sup>14</sup>C en el ciclo hidrológico Estudios de casos.

Tema 3: Fundamentos y utilidades del<sup>15</sup>N y <sup>18</sup>O del nitrato disuelto en aguas. Fuentes naturales y antrópicas de N. Detección de su origen (atmosférico, suelos naturales, agrícola, urbano). Procesos modificadores de la composición isotópica del N y O. Isótopos del N en las especies de N (nitratos, nitritos, amonio).

### **Módulo II:** Modelación geoquímica

Tema 4: Termodinámica y cinética química en sistemas hidrológicos. Cálculos de índices de saturación de aguas naturales mediante modelos numéricos. Posibilidades de precipitación o disolución de sales en el propio acuífero. Modelos de reconstrucción de procesos de meteorización en hidrogeología. Modelación geoquímica de acuíferos. Desarrollo del modelo numérico. Información necesaria para elaborarlos. Tipos de modelos geoquímicos: inversos y directos. Uso del programa numérico Netpathy Phreeqc. Aplicación a casos concretos.

### **Módulo III:**

Tema 5: Introducción- Conceptos de contaminación y polución- Clasificación de la contaminación por su distribución espacial y temporal. Actividades humanas y fuentes contaminantes de aguas superficiales y subterráneas. Generalidades sobre los contaminantes de origen urbano, agrícola, ganadero, industrial y minero. Modos de contaminación, vías directas e indirectas. Procesos de transporte de sustancias reactivas y no reactivas. Flujos advectivo, dispersivo y difusivo. Procesos de adsorción-desorción, Coeficiente de partición (Kd) e isothermas. El rol de la zona no saturada y de la zona saturada en la contaminación: cómo influyen ambas en los procesos de adsorción-desorción, ácido-base, solución-precipitación, óxido-reducción, asociación iónica (complejación), procesos microbianos, dispersión hidrodinámica, etc. Ejemplos de caso.

Tema 6: La contaminación en el ecosistema urbano. Contaminación por sistemas de saneamiento in situ: química y microbiológica. Indicadores de contaminación localizada y extendida. Monitoreo y medidas de control. Otras fuentes de contaminación fecal. Los residuos sólidos urbanos, a cielo abierto y enterramientos. Ambiente geoquímico y escenarios redox relacionados a las plumas contaminantes de los enterramientos, transporte de los contaminantes. Consideraciones sobre el muestreo. Remediación. Cementerios y contaminantes asociados. Depósitos de combustibles, pérdidas y situaciones de contaminación, procesos de remediación. Ejemplos de caso. Cambios secundarios de aguas subterráneas bajo áreas urbanizadas en relación a contaminación y cambios de niveles piezométricos derivados de causas naturales y antrópicas. Ejemplos.

Tema 7: Contaminación por actividades industriales. Comportamiento de algunos contaminantes industriales típicos (fenoles, hidrocarburos aromáticos, etc.) y su afectación por parte de los procesos de atenuación. Ejemplos de un contaminante industrial común en Argentina: cromo derivado de curtiembres. Impactos por contaminación de actividad minera en aguas superficiales y subterráneas: ejemplos de fluorita, cromo, estaño, carbón, etc. del país y extranjero. El drenaje ácido de minas.

Tema 8: La contaminación en el agroecosistema. Amenazas a la calidad del agua en el ambiente rural. Contaminación derivada de fertilizantes. Lixiviación de nitratos bajo suelos intensamente



cultivados. La actividad ganadera y otras fuentes de nitrógeno. Contaminación por pesticidas. Procesos que gobiernan el transporte de agroquímicos. Otras fuentes de afectación a los acuíferos en ambientes rurales. Ejemplos de casos. Consideraciones sobre el fondo natural, metodologías para el cálculo y su relación con la contaminación.

#### 4. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

**CLASES TEÓRICAS:** (nómina, modalidad, metodología, recursos y carga horaria semanal)

**CLASES PRÁCTICAS:** (nómina, modalidad, metodología, recursos y carga horaria semanal)

Se trabaja durante todo el cuatrimestre, con una clase semanal de 4 hs de duración y un día de campo de 6 hs, lo que hace una carga horaria total de 56 hs. Las clases impartidas son todas teórico-prácticas. Aproximadamente la mitad es teoría y el resto práctica, si bien no se las puede separar claramente en los días de dictado, pues a los aspectos teóricos básicos se van sumando tareas prácticas, con debate teórico, que no tienen días específicos, pues se sigue el ritmo de los alumnos, siempre balanceando de manera tal de cumplir con los temas estipulados.

Trabajos prácticos
1-Recta meteórica y análisis de composición isotópica de aguas
2-Edad del agua
3- Modelación geoquímica de acuíferos
4-Transporte advectivo de contaminantes
5- Transporte dispersivo de contaminantes
6-Cálculo de coeficiente de partición para metales
7-Cálculo de retardo de contaminantes
8- Coeficiente de partición de contaminantes orgánicos
9- Cálculo de contaminación con MTBE
10-Contaminación con productos farmacéuticos
11-Estimación de fondo natural de nitratos y comparación con contaminación por feedlots
12-Trabajo práctico de campo, medición de parámetros indicadores de contaminación

**OTRAS:** instancias evaluativas, salidas a campo, seminarios, talleres, coloquios, etc. (nómina, modalidad, metodología, recursos y carga horaria)

Los aspectos conceptuales se trabajan desde una perspectiva global hacia la particularidad en cada caso, y su aplicación en diversas situaciones problemáticas. Los logros alcanzados por los estudiantes se evalúan a través de la participación activa, iniciativa, grado de conocimiento, exposiciones, enfoque, resolución de problemas, entre otros.



Universidad Nacional de Río Cuarto  
Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales

Clases de campo: se fijan días específicos, habitualmente se desarrolla 1 práctica de campo de 6 hs, que depende fuertemente de la disponibilidad de vehículos en el Dpto. automotores y normalmente se realiza en el momento adecuado del progreso de la asignatura, en función de cómo se han ido desarrollando los temas.

## 5. PROGRAMAS Y/O PROYECTOS PEDAGÓGICOS INNOVADORES E INCLUSIVOS

## 6. CRONOGRAMA TENTATIVO DE CLASES E INSTANCIAS EVALUATIVAS

\*Teóricos, teóricos-prácticos, trabajos de laboratorios, salidas a campo, seminarios, talleres, coloquios, instancias evaluativas, consultas grupales y/o individuales, otras.

**Viernes de 14 a 18 hs**

**Campos: mismo horario de clases y según disponibilidad de vehículos.**

CONSULTAS: a fijar con los alumnos en función de sus otras actividades.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

**7.1. Bibliografía obligatoria y de consulta** (por lo menos algún material bibliográfico debe ser de edición 2012 o posterior).

- Aggarwal P., J. Gat and K. Froehlich (Eds.), (2005). *Isotopes in the Water Cycle: Past, Present and Future of a Developing Science*. IAEA. Springer. ISBN 13978-1-4020-3010-9. 377pp.
- Alcaide, F. (2006). Aproximación a las características hidroquímicas del agua subterránea en Montilla (Córdoba). *Ingeniería del agua*, 13(4), 279-288.
- Appelo C. y D. Postma, 1996. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Ed Balkema.
- Armengol Vall, S., Manzano Arellano, M., Bea, S., Pelizardi, F., Ormaechea, L. y Martínez, S. (2016). Aportes al modelo hidrogeoquímico conceptual de la cuenca del río Matanza-Riachuelo. IX Congreso Argentino de Hidrogeología y VII Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Catamarca, Argentina.
- Asrari, E. (Ed.). (2014). *Heavy metal contamination of water and soil: analysis, assessment, and remediation strategies*. CRC Press.
- Auge M., (2004). *Hidrogeología Ambiental 1*. 84 pag. Ebook. En Pagina web de ALHSUD (Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el desarrollo)
- Bearda BL, Johnson CM, Skulan JL, Nealson KH, Cox L and Sun H. 2003. Application of Fe isotopes to tracing the geochemical and biological cycling of Fe. *ChemicalGeology* 195: 87– 117. Elsevier
- BécherQuinodóz, F. y M. Blarasin, (2017). Evaluación de relaciones geomorfología – calidad de agua subterránea mediante técnicas estadísticas y modelación numérica en la planicie arenosa del sur de Córdoba, Argentina. *GEOACTA* 41(2) Asociación Arg. de Geofísicos y Geodestas. ISSN 1852-7744
- Berger, A. & W. Iams. (1996). *Geoindicators, assessing rapid environmental changes in earth systems*. Balkema. Rotterdam. Brookfield. ISBN 90 5410 631.
- Berkowitz, Dror y Yaron, (2008). *Contaminant Geochemistry, Interactions and transport in the subsurface environment*. Ed. Springer.
- Blarasin M. y A. Cabrera, (2005). *Agua subterránea y ambiente*. 30 pág. ISBN 987-98379-9-. Ed. Agencia Cba Ciencia



- Blarasin, M., S. Degiovanni, A. Cabrera y M. Villegas, (2005). Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Cba: una perspectiva geambiental. Ed UNRC. ISBN 950-665-350-X. 319pp.
- Blarasin M. A., Cabrera., I. Matiatos, F., BecherQuinodóz, J. Giuliano Albo, V. Lutri, E. Matteoda and H. Panarello. (2020). Comparative evaluation of urban versus agricultural nitrate sources and sinks in an unconfined aquifer by isotopic and multivariate analyses. *Science of the Total Environment* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140374>
- Boyd, C. E. (2019). *Water quality: an introduction*. Springer Nature.
- Brassington, R., (1990). *Field Hydrogeology*. Ed. John Wiley & Sons. New York.
- Cabrera, A., M. Blarasin, E. Matteoda y J. Giuliano Albo. (2009). Modelo Geoquímico del acuífero freático sedimentario en la zona de San Basilio, Córdoba, Argentina. Aportes de la hidrogeología al conocimiento de los recursos hídricos. Mariño y Schulz (Eds.) Tomo II. ISBN 978-987-1082-36-0.
- Cabrera A., L. Maldonado, M. Blarasin. y C. Dapeña, (2014).  $^2\text{H}$  and  $^{18}\text{O}$  Behavior in precipitations, surface water and groundwater systems of the pampean plain in the south of Córdoba province, Argentina. 232 pp. 9th South American Symposium on Isotope Geology, April 6th to 9th, 2014, São Paulo, Brasil.
- Cabrera A., L. Maldonado, M. Blarasin y C. Dapeña, (2014). Geochemical and isotopic characterization of confined aquifers in the central-south area of Cordoba province. Argentina. Resúmen. 233 pp. 9th South American Symposium on Isotope Geology, April 6th to 9th, 2014, in São Paulo, Brasil.
- Canter, L. W. (1997). *Nitrates in Groundwater*. Lewis Publishers. ISBN 0-87371-569-1. 263 p.
- Clark, I., (2015). *Groundwater Geochemistry and Isotopes*. CRC Press. Taylor and Francis Group. Boca Raton.
- Carmona, A., (2003). *Conceptos básicos sobre medio ambiente y desarrollo sustentable*. Publicación INET y GTZ GMBH. ISBN: 987-20598-8-8
- Collins, A. y A. Johnson, (1988). *Groundwater Contamination. Field methods*. ASTM.
- Cook, P. G., & Herczeg, A. L. (Eds.). (2012). *Environmental tracers in subsurface hydrology*. Springer Science & Business Media.
- Custodio E. y M. R. Llamas. (1983). *Hidrogeología subterránea*. Seg. Edición. Ed. Omega, S. A. Barcelona.
- de Vries A. J. (2000). The semi-arid environment of Curaçao: a geochemical soil survey. *Netherlands Journal of Geosciences* 79 (4): 479-494
- Chilton, (1999). *Groundwater in the urban environment: Problems, Processes and Management*. Balkema-Rotterdam, ISBN 90 5410 837 1.
- Delgado C., V. Esteller Alberich y F. Lopez Vera, (2006). *Recursos Hídricos: conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica*. Ed Piriguazú. Disponible en CD
- Deutsch W. (1997). *Groundwater geochemistry. Fundamentals and Applications to contamination*. Ed. Lewis.
- Domenico P. y F. Schwartz. (1990). *Physical and chemical hydrogeology*. Ed. Wiley and Sons.
- Drever JI and LL Stillings, (1982). The role of organic acids in mineral weathering. *Colloids and Surfaces*. A: Physicochemical and Engineering Aspects 120: 167 181
- Drever, J., (2002). *The Geochemistry of natural waters, surface and groundwater environments*. 3rd. edition. Prentice Hall.
- Drever, J. I. (Ed.). (2005). *Surface and Ground Water, Weathering, and Soils: Treatise on Geochemistry, Volume 5 (Vol. 5)*. Elsevier.
- Edmunds, W. & P. Smedley. (1996). Groundwater geochemistry and health: an overview. In Appleton, J., Fuge, R. & McCall, G. (eds.). *Geological Society Pub. No. 113*, Pp. 91-105.
- Escuder et al, (2009). *Hidrogeología*. Publicado por el Centro Internacional de Hidrología Subterránea. España
- Eslinger, E., U. Oko, J. Smith y G. Holliday, (1994). *Introduction to environmental hydrogeology*. SEPM Short Course N°32. United States of America.
- Freeze, R. y J. Cherry, (1979). *Groundwater*. Ed. Prentice-Hall, Inc. United States of America.
- Feitosa y Filho, (2000). *Hidrogeología, conceptos y aplicaciones*. Serv Geol. Brasileiro.
- Fetter, C.W., (1993). *Contaminant Hydrogeology*. Prentice Hall.
- Fetter, C. W. (1994). *Applied Hydrogeology*. Third Edition. Prentice Hall, New Jersey 07458. ISBN 0-02-336490-4. 691 p.



- Fetter C. W., T. Boving and D Kreamer, (2018). Contaminant Hydrogeology. Third Edition. Waveland Press, inc.
- Foster S., R. Hirata, D. Gomes, M. D'Elia y M. Paris. (2002). Groundwater Quality Protection. A guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies. Groundwater Management The World Bank. Washington.
- Freeze, R. y J. Cherry, (1979). Groundwater. Ed. Prentice-Hall, Inc. United States of America.
- González-Abraham, A., Fagundo-Castillo, J. R., Carrillo-Rivera, J. J., & Rodríguez-Estrella, R. (2012). Geoquímica de los sistemas de flujo de agua subterránea en rocas sedimentarias y rocas volcánicas de Loreto, BCS, México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 64(3), 319-333.
- Jarrige, F., & Le Roux, T. (2020). The Contamination of the Earth: A History of Pollutions in the Industrial Age. MIT Press.
- Kovalesky V., Kruseman G. y K. Rushton, (2000). Groundwater studies. An international guide for hydrogeological investigations. IHP-VI. Series on groundwater n°3. UNESCO.
- Langmuir D., (1997). Aqueous environmental geochemistry. Ed Prentice Hall. ISBN 0023674121
- Lawrence, A., Macdonald, D., Howard, A., Ahmed, K. y N. Nalubega. (2001). Guidelines for Assessing the Risk to Groundwater from On-Site Sanitation. British Geological Survey. Commissioned Report CR/01/142. 97 p.
- Lopez Geta J., Fornes J., Ramos, G. y F. Villarroya. (2002). Las aguas subterráneas: un recurso natural del subsuelo. Ed. IGME. España.
- Maldonado L., A. Cabrera y M. Blarasin. (2013). Relaciones hidrodinámicas, geoquímicas e isotópicas entre los sistemas lagunares y acuíferos en llanura cordobesa. VII Congreso Ecología y Manejo Ecosistemas Acuáticos Pampeanos. Río Cuarto.
- Maldonado, L., A. Cabrera, M. Blarasin, C. Dapeña y H. O. Panarello. (2015). Geochemistry and age of groundwater in confined aquifers from Argentina chacopampeana plain. Symposium on Isotope Hydrology. Vienna, Austria.
- Marques JJ, Schulze DG, Curia N and SA Mertzman. (2004). Major element geochemistry and geomorphic relationships in Brazilian Cerrado soils. Geoderma 119: 179–195
- Martínez, D. y M. Osterrieth. (2003). Hidrogeoquímica de un acuífero en sedimentos cuaternarios en un sector de la llanura Pampeana, Argentina.
- Mather J., D. Banks, S. Dumbleton and M. Fermor, (1999). Groundwater contaminants and their migration. Ed Geological Society Special publication n° 128.
- Merkel, BJ, Planer-Friedrich, B. y Nordstrom, DK (2005). Geoquímica de aguas subterráneas. Una guía práctica para el modelado de sistemas acuáticos naturales y contaminados, 2 .
- Ministerio de Medio Ambiente de España, (2000). Sistema Español de Indicadores Ambientales. Area Medio Urbano. Ed MMA. ISBN: 84-8320-137-2
- Mook, W., (2001). Environmental Isotopes in the hydrogeology cycle. Principles and applications. UNESCO/IAEA Series on. 1-800.
- Moore, J., A. Zaporozec y J. Mercer, (1995). Groundwater: a primer. AGI Environmental Awareness Series: 1.
- Morell I. Y L. Candela., 1998- Plaguicidas, aspectos ambientales, analíticos y toxicológicos. Ed. Universitat Jaume.
- Munroe JS, Farrugia G and PC Ryan. (2007). Parent material and chemical weathering in alpine soils on Mt. Mansfield, Vermont, USA. Catena 70: 39–48
- Nesbitt HW and G. Markovics. (1997). Weathering of granodioritic crust, long-term storage of elements in weathering profiles, and petrogenesis of siliciclastic sediments. Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 61, No. 8: 1653-1670,
- Nielsen, D., (1991). Practical Handbook of Groundwater monitoring. Ed. Lewis Publishers Inc.
- Novák, V., & Hlaváčiková, H. (2019). Transport of Solutes in Soils. In Applied Soil Hydrology (pp. 229-242). Springer, Cham.
- Pathak P. and D. Gupta, (2020). Strontium Contamination in the Environment. The Handbook of Environmental Chemistry 88. Springer.



Universidad Nacional de Río Cuarto  
Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales

- Ramesh Reddy K. and Ronald D. DeLaun, (2008). Biogeochemistry of WETLANDS Science and Applications. ED CRC Press.
- Razowska L. and Sadurski A., (2002). Nitrates in groundwater. Balkema
- Rivera Valdés, S., (2003). Gestión de Residuos sólidos. Técnica, salud, ambiente y competencia. Publicación financiada con fondos de la cooperación técnica de la República Federal de Alemania- ISBN: 987-20598-6-1
- Robins, N, (1998). Groundwater Pollution, acuífer recharge and vulnerability. Geological Society Special Publication. N° 130
- Rosillo, S., Miranda, T., Rodríguez, M. & Martos, F. (2008). Caracterización hidrogeoquímica preliminar de las aguas subterráneas del acuífero carbonático de la Sierra de Aracena (Huelva). Geogaceta, 44, 147-150.
- Soliman M., La Moreaux P., Memon B., Asaad F and La Moreaux J., (1998), Environmental Hydrogeology. CRC Press. ISBN 0873719492
- Sracek O and J Zeman, (2004). Introduction to environmental hydrogeochemistry. Masaryk University in Brno. Faculty of Science.
- United Nations Environment Program, (2003). Groundwater and its susceptibility to degradation: A global assessment of the problem and options for management. 126 pag. UNEP.DFID. DGDC.BGS. ISBN. 92-807-229-2
- Vásquez Morera, T., Alfaro Solís, R., Sibaja Brenes, J. P., Esquivel Hernández, G. y Valdés González, J. (2012). Composición química del agua de lluvia y de niebla recolectada en la Reserva Biológica Monteverde. UNICIENCIA, Vol. 26, Núm. 1-2, 2012, pp. 51-63. Universidad Nacional Heredia, Costa Rica
- Velázquez-Pedroza, K., Murillo-Jiménez, J. M., Marmolejo-Rodríguez, A. J., Nava-Sánchez, E. H., Morales-Puente, P. A., Wurl, J., & Hernández-Pérez, E. (2019). Caracterización hidrogeoquímica en la cuenca hidrológica el carrizal, Baja California Sur, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 35(1), 47-64.
- Velbel MA. (1993). Constancy of silicate-mineral weathering-rate ratios between natural and experimental weathering: implications for hydrologic control of differences in absolute rates. Chemical Geology, 105: 89-99
- West, J., Bowen, G., Dawson, T., & Tu, K. (Eds.) (2009). Isoscapes: understanding movement, pattern, and process on Earth through isotope mapping. Springer Science & Business Media.
- White AF, Bullen TD, Vivit DV, Schulz MS, and DW Clow. (1999). The role of disseminated calcite in the chemical weathering of granitoid rocks. Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 63, No. 13/14: 1939-1953

## 7.2. Otros: materiales audiovisuales, enlaces, otros.

## 8. DÍA Y HORARIOS DE CLASES

Martes de 8,30 a 12,30 hs

Campos: mismo horario de clases y según disponibilidad de vehículos.

## 9. DÍA Y HORARIO DE CLASES DE CONSULTAS

A fijar con los alumnos en función de las demás asignaturas que cursan

## 10. REQUISITOS PARA OBTENER LA REGULARIDAD Y LA PROMOCIÓN



Universidad Nacional de Río Cuarto  
Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales

- **CONDICIONES DE REGULARIDAD**

Para regularizar la asignatura se exige que el estudiante cumpla con:

- Asistencia al 80% de las clases Teórico-Prácticas.
- Aprobación de presentaciones de trabajos.
- Aprobación de las evaluaciones parciales.

- **CONDICIONES DE PROMOCION**

Esta modalidad está contemplada en la asignatura para aquellos alumnos que cumplan en los tiempos estipulados y de forma satisfactoria con las presentaciones de trabajos y que rindan los parciales con una nota superior a 7 (siete).

## **11. CARACTERÍSTICAS, MODALIDAD Y CRITERIOS DE LAS INSTANCIAS EVALUATIVAS**

Dado que a los alumnos se les entregan videos, trabajos científicos para leer y opinar y se hacen varios prácticos, se hará una evaluación continua, apreciando avances y retrocesos, revisando errores conceptuales y realizando ajustes entre objetivos planteados, actividades y contenidos. Una manera de dejar establecidos los alcances individuales, es hacer un seguimiento de las tareas de Gabinete (participación, iniciativa, grado de conocimiento, exposiciones, trabajo de errores, etc.) y Campo (participación, grado de iniciativa, enfoque y resolución de problemas, ubicación en el campo, libreta de campo, manejo de equipo, etc.). De este modo se considera que la evaluación es de tipo formativa, permanente y sumativa con instancias de evaluaciones parciales.

- Evaluaciones parciales: Se trata de instancias de integración de cada módulo en los que está estructurada la asignatura. Por lo tanto, son evaluaciones tipo cuestionarios escritos en las que se plantean problemas concretos referidos a procesos geoquímicos aplicados tanto a suelos como a aguas.
- Evaluación Final: Es de tipo oral integrador de todos los contenidos generales de la asignatura.

**Firma Profesor/a Responsable**

**Firma Secretario/a Académico/a**