UNER	**Doctorado en Ingeniería** **Facultades de Cs. Agropecuarias; Cs. de la Alimentación e Ingeniería**

Carrera: Doctorado en Ingeniería

Curso de Posgrado: ***Principios y Aplicaciones de Reología y Extrusión en Alimentos***

Carga Horaria[1]**:** 30 Horas

Docente/s a cargo: docente responsable: Dr. Osvaldo Campanella

docentes colaboradores: Dra. Mercedes Rasia, Dr. Lucas Benítez

Semestre: 1ro **Año:** 2025

Características del curso

1. Carga horaria: la cantidad de horas reloj: **30 horas**
2. Curso teórico: curso donde se desarrolla en forma expositiva una temática propia de la disciplina: -
3. Curso teórico-práctico: curso que articula la modalidad del curso teórico con una actividad de la práctica con relación a la temática de estudio. Lo teórico y lo práctico se dan simultáneamente en forma interrelacionada: **Curso teórico-práctico**
4. Carácter: si son del ciclo común o del ciclo electivo: **Ciclo electivo**

Programa Analítico de foja: **2** a foja: **5**

Bibliografía de foja: **6** a foja: **7**

Aprobado Resoluciones de Consejos Directivos: **Fecha:**

Carece de validez sin la certificación del Comité de Doctorado:

Facultades de Ingeniería, Ciencias Agropecuarias y Ciencias de la Alimentación **Oro Verde-Concordia, E. R.** **República Argentina**	**PROGRAMA ANALÍTICO**

Unidad I: **Principios Básicos en el área de Reología**

Objetivos: Describir Principios Básicos en el área de Reología

Temas

1. Introducción a la Reología
   - Definición de reología y su importancia en los alimentos.
   - Propiedades reológicas: viscosidad, viscoelasticidad, plasticidad, etc.
   - Tipos de materiales reológicos: líquidos, sólidos y geles.
2. Fundamentos de la Reología de Biomateriales
   - Propiedades de los biomateriales en su estado fluido, semifluido, semisólido y sólido.
   - Viscoelasticidad: comportamiento de los biomateriales como sólidos y líquidos.
   - Estructuras morfológicas de los biomateriales (porosidad, cristales, redes de polímeros).
3. Modelos Reológicos
   - Modelos de fluencia: Newtoniano, No-Newtoniano (plástico, pseudoplástico, dilatante).
   - Modelos de viscoelasticidad: modelos de Maxwell, Kelvin-Voigt, y Burgers.
   - Comportamiento reológico de los biomateriales en función de la temperatura y la frecuencia.
4. Instrumentos para el Estudio de la Reología
   - Reómetros rotacionales y de esfuerzo cortante.
   - Tipos de ensayos: ensayos de viscosidad, tensión, deformación.
   - Preparación de muestras y condiciones de medición.

Unidad II: Principios de Reología en el Procesamiento de Alimentos

Objetivos: Aplicar principios reológicos en el diseño y control de procesos de producción de alimentos

Temas

1. Aplicación de los Principios de Reología en el Procesamiento de Alimentos
2. Propiedades Reológicas de los Alimentos
   - Comportamiento reológico de alimentos sólidos y líquidos (ej. salsas, purés, masas).
   - Comportamiento en diferentes condiciones: temperatura, pH, concentración de sólidos.
   - Relación entre la textura y las propiedades reológicas de los alimentos.
3. Reología en la Elaboración de Alimentos
   - Procesos de formación de masa y su relación con la reología.
   - Reología en procesos térmicos: cocción, pasteurización, esterilización, secado.
   - Procesamiento de alimentos líquidos: bebidas, sopas, jugos.

4. Técnicas de Medición en el Procesamiento de Alimentos
    - Caracterización de alimentos mediante técnicas de análisis reológico.
    - Aplicación de la reología en la formulación y diseño de nuevos productos.
    - Reología en la producción de emulsiones, geles y espumas.
5. Reología en la Industria Alimentaria
    - Control de calidad de productos alimenticios.
    - Diseño de procesos de mezcla y homogenización en la producción de alimentos.
    - Aplicación de la reología en la industria de helados, panadería y lácteos.
    - Aplicaciones a impresión 3D

Ensayos de Laboratorio:

Ensayo de Viscosidad y Viscoelasticidad

Objetivo: Determinar la viscosidad de diferentes biomateriales líquidos y semilíquidos y su caracterización reológica.

- Métodos: Uso de reómetros, caracterización de las propiedades reológicas de materiales viscoelásticos

Ensayo de Fluidez de Suspensiones

Objetivo: Estudiar el comportamiento de suspensiones de partículas (ej. almidón, proteínas).

- Métodos: Ensayo de viscosidad en función del tiempo y la temperatura.

Unidad III: Fundamentos de la Tecnología de Extrusión

Objetivos de la unidad:

- Comprender los principios básicos y los mecanismos involucrados en el procesamiento por extrusión.
- Conocer los diferentes tipos de extrusoras y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos.
- Analizar los efectos de los parámetros de extrusión sobre las propiedades del producto final.

Temas:

1. Introducción a la Tecnología de Extrusión
    - Definición e historia de la extrusión.
    - Descripción general del proceso de extrusión: procesamiento continuo vs. por lotes.
    - Tipos de extrusoras: extrusora de tornillo simple, doble tornillo y multitornillo.
    - Ventajas y desventajas de la extrusión como técnica de procesamiento de alimentos.
2. Principios de la Extrusión
    - Mecanismos de extrusión: efectos de cizallamiento, compresión y temperatura.
    - Flujo de material dentro de la extrusora: el rol del tornillo, barril y matriz.
    - Parámetros clave de la extrusión: temperatura, presión, velocidad del tornillo y tasa de alimentación.
    - La importancia del contenido de humedad y su impacto en la extrusión.
3. Diseño y Componentes de la Extrusora
    - Análisis detallado del diseño del tornillo: geometría, paso y profundidad de las palas.
    - Comprensión del diseño del barril y la matriz.
    - El rol de los sistemas de calefacción/enfriamiento en el control de los parámetros de extrusión.
    - Tipos de tornillos y su rol en la mezcla, transporte y cizallamiento.
4. Reología de la Extrusión
    - Propiedades reológicas de los materiales durante la extrusión: tensión de cizallamiento, viscosidad y elasticidad.

- Cómo la extrusión afecta las propiedades reológicas de los biomateriales alimentarios.
- Impacto de diferentes composiciones de alimentación sobre el comportamiento de la extrusión.

5. Consideraciones sobre los Materiales en la Extrusión
   - Tipos de materiales utilizados en la extrusión de alimentos: basados en almidón, proteínas y materiales compuestos.
   - Influencia de las características de las materias primas: tamaño de partícula, humedad y composición.
   - Pre-acondicionamiento de materias primas antes de la extrusión.

Ensayos de Laboratorio:

1. Experimento Básico de Extrusión
   - Objetivo: Comprender el funcionamiento de una extrusora de doble tornillo y observar el flujo del material bajo diferentes condiciones de procesamiento.
   - Método: Realizar un experimento práctico utilizando diferentes materiales de alimentación y analizar cómo los parámetros de extrusión afectan el producto final.
2. Comportamiento Reológico de los Materiales Durante la Extrusión
   - Objetivo: Medir la viscosidad y la tensión de cizallamiento de diferentes materias primas antes de la extrusión.
   - Método: Usar un reómetro para evaluar las propiedades reológicas de diversas matrices alimentarias (por ejemplo, almidón, harina, proteína) bajo diferentes condiciones (humedad, temperatura).

Unidad IV: Aplicación de la Extrusión en el Procesamiento de Alimentos

Objetivos de la unidad:

- Explorar la aplicación de la extrusión en diferentes procesos de alimentos y el desarrollo de productos.
- Comprender el role de la extrusión en la textura, estructura y propiedades nutricionales de los productos finales.
- Aprender a diseñar procesos de extrusión para productos alimenticios específicos y de mercados.

Temas:

1. Extrusión en la Fabricación de Alimentos Snacks
   - Descripción general de los productos snack: papas fritas, snacks inflados y productos de cereales.
   - Impacto de la extrusión en la textura, forma y expansión de los snacks.
   - Desarrollo y optimización de productos de snacks extruidos.
2. Texturización de Alimentos a Base de Proteínas
   - Aplicación de la extrusión en la creación de análogos de carne y productos a base de proteínas vegetales.
   - El rol de la extrusión en la mejora de la textura y funcionalidad de las proteínas.
   - Ejemplo: Extrusión de proteína de soya y su uso en la creación de proteína vegetal texturizada (TVP).
3. Extrusión en la Producción de Cereales de Desayuno y Pasta
   - Rol de la extrusión en la producción de cereales de desayuno y pasta.
   - Parámetros del proceso que influyen en la estructura y crocancia de los cereales.
   - Extrusión de pasta: parámetros que afectan la textura, propiedades de cocción y valor nutricional.
4. Aspectos Nutricionales de los Alimentos Extruidos
   - Composición nutricional de alimentos: efectos del calor, presión y cizallamiento.
   - Retención de nutrientes y pérdidas durante el proceso de extrusión.
   - Enriquecimiento y fortificación de productos extruidos con vitaminas, minerales y fibras.
5. Innovación y Tendencias Futuras en la Extrusión de Alimentos

- Tendencias emergentes en la extrusión de alimentos: extrusión de ingredientes y alimentos funcionales.
- Avances en la tecnología de extrusión: extrusión híbrida, coextrusión y microextrusión.
- Aplicaciones potenciales de la extrusión en la creación de productos alimentarios sostenibles y ecológicos.

6. Extrusión para Productos Alimentarios Especializados
   - Aplicación en la producción de productos sin gluten.
   - Extrusión de alimentos de baja humedad (por ejemplo, snacks secos, ingredientes en polvo).
   - Impacto de la extrusión en la producción de alimentos dietéticos y saludables.

Ensayos de Laboratorio:

1. Extrusión de Alimentos Snack
   - Objetivo: Producir un snack extruido (por ejemplo, arroz inflado o snacks de maíz) y estudiar el efecto de los parámetros de extrusión en la textura y expansión.
   - Método: Variar los parámetros de extrusión como contenido de humedad, temperatura y velocidad del tornillo, luego evaluar la textura, el color y la expansión del producto.
2. Texturización de Proteínas Vegetales
   - Objetivo: Investigar el efecto de la extrusión sobre las propiedades texturales de las proteínas vegetales (por ejemplo, proteína de soya, proteína de guisante).
   - Método: Usar una extrusora de doble tornillo para procesar mezclas de proteínas y evaluar la textura, sensación en boca y calidad general del producto final.
3. Proceso de Extrusión de Pasta
   - Objetivo: Examinar el efecto de diferentes parámetros de extrusión sobre la calidad de la pasta.
   - Método: Preparar pasta bajo distintas condiciones de extrusión (temperatura, velocidad del tornillo) y evaluar el tiempo de cocción, textura.

Facultades de Ingeniería, Ciencias Agropecuarias y Ciencias de la Alimentación **Oro Verde-Concordia, E. R.** **República Argentina**	**BIBLIOGRAFÍA**

Bibliografía

- Bouvier, J. M., &Amp; Campanella, O. H. (2014). Extrusion Processing Technology: Food And Non-Food Biomaterials. John Wiley &Amp; Sons
- Morrison, F. A. (2001). Understanding Rheology (Vol. 1, No. 3.1). New York: Oxford University Press.
- Mcclements, D. J., & Grossmann, L. (2022). Next-Generation Plant-Based Foods. Next-Generation Plant-Based Foods, 57(177), 198-207.
- Prakash, S., Bhandari, B., & Gaiani, C. (Eds.). (2022). Engineering Plant-Based Food Systems. Academic Press.
- Steffe, J.M. (1996). Rheological Methods In Food Processing Engineering. 2 Nd Edition. Freeman Press. https://Oldversion.Stu.Edu.Vn/Uploads/Documents/030509-214140.Pdf
- Telis, V. R. N. (Ed.). (2012). Biopolymer Engineering In Food Processing. Crc Press.

Bibliografía de consulta

- Baune, M. C., Terjung, N., Tülbek, M. Ç., & Boukid, F. (2022). Textured vegetable proteins (TVP): Future foods standing on their merits as meat alternatives. Future Foods, 6, 100181.
- Chen, D., Fang, F., Federici, E., Campanella, O., & Jones, O. G. (2020). Rheology, microstructure and phase behavior of potato starch-protein fibril mixed gel. Carbohydrate Polymers, 239, 116247.
- Chen, D., & Campanella, O. H. (2022). Limited enzymatic hydrolysis induced pea protein gelation at low protein concentration with less heat requirement. Food Hydrocolloids, 128, 107547.
- Chen, D., Jones, O. G., & Campanella, O. H. (2023). Plant protein-based fibers: Fabrication, characterization, and potential food applications. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 63(20), 4554-4578.
- Chen, D., Rocha-Mendoza, D., Shan, S., Smith, Z., García-Cano, I., Prost, J., …, Campanella, O. (2022). Characterization and cellular uptake of peptides derived from in vitro digestion of meat analogues produced by a sustainable extrusion process. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 70(26), 8124-8133.
- Donmez, D., Pinho, L., Patel, B., Desam, P., & Campanella, O. H. (2021). Characterization of starch–water interactions and their effects on two key functional properties: Starch gelatinization and retrogradation. Current Opinion in Food Science, 39, 103-109.
- Fang, F., Luo, X., BeMiller, J. N., Schaffter, S., Hayes, A. M., Woodbury, T. J., ... & Campanella, O. H. (2020). Neutral hydrocolloids promote shear-induced elasticity and gel strength of gelatinized waxy potato starch. Food Hydrocolloids, 107, 105923.
- Fevzioglu, M., Ozturk, O. K., Hamaker, B. R., & Campanella, O. H. (2020). Quantitative approach to study secondary structure of proteins by FT-IR spectroscopy, using a model wheat gluten system. International Journal of Biological Macromolecules, 164, 2753-2760.
- GOODWIN, J. W., & HUGHES, R. W. (2008). Rheology For Chemists: An Introduction. Royal Society Of Chemistry.
- Israelachvili, J., & Ruths, M. (2013). Brief history of intermolecular and intersurface forces in complex fluid

systems. Langmuir, 29(31), 9605-9619.
- Israelachvili, J. N. (2011). Intermolecular and surface forces. Academic press.
- Jia, Y., Cocker, C., & Sampath, J. (2025). Insights into Protein Unfolding under pH, Temperature, and Shear Using Molecular Dynamics Simulations. Biomacromolecules
- Maldonado-Rosas, R., Tejada-Ortigoza, V., Cuan-Urquizo, E., Mendoza-Cachú, D., Morales-de La Pena, M., Alvarado-Orozco, J. M., & Campanella, O. H. (2022). Evaluation of rheology and printability of 3D printing nutritious food with complex formulations. Additive Manufacturing, 58, 103030.
- McCaw, J. C., Fleck, T. J., Tejada-Ortigoza, V., Patel, B., Son, S. F., Gunduz, I. E., ... & Rhoads, J. F. (2022). Vibration-assisted printing of highly viscous food. Additive Manufacturing, 56, 102851.
- McClements, D. J., & Grossmann, L. (2024). Next-generation plant-based foods: Challenges and opportunities. Annual Techno of Tech Technol and Technology, 15.
- Renzetti, S., Lambertini, L., Mocking-Bode, H. C., & Van der Sman, R. G. (2025). Soluble fibres modulate dough rheology and gluten structure via hydrogen bond density and Flory-Huggins water interaction parameter. Current Research in Food Science, 10, 100991.
- Ricarte, R. G., & Shanbhag, S. (2024). A tutorial review of linear rheology for polymer chemists: basics and best practices for covalent adaptable networks. Polymer Chemistry.
- Salgado, A. M., Ozturk, O. K., Hamaker, B. R., & Campanella, O. H. (2023). Matching textural properties of commercial meat and cheese products using zein as the viscoelastic agent and calcium hydroxide as the textural modifier in plant-based formulations. Food Hydrocolloids, 137, 108323.
- ● Samard, S., Maung, T. T., Gu, B. Y., Kim, M. H., & Ryu, G. H. (2021). Influences of extrusion parameters on physicochemical properties of textured vegetable proteins and its meatless burger patty. Food Science and Biotechnology, 30, 395-403.
- Xu, E., Campanella, O. H., Ye, X., Jin, Z., Liu, D., & BeMiller, J. N. (2020). Advances in conversion of natural biopolymers: A reactive extrusion (REX)–enzyme-combined strategy for starch/protein-based food processing. Trends in Food Science & Technology, 99, 167-180.
- Zhang, D., Chen, D., Patel, B., & Campanella, O. H. (2022). Pectin as a natural agent for reinforcement of pea protein gel. Carbohydrate Polymers, 298, 120038.

Facultades de Ingeniería, Ciencias Agropecuarias y Ciencias de la Alimentación **Oro Verde-Concordia, E. R.** **República Argentina**	**PLANIFICACIÓN DEL CURSO**

Objetivos Generales:

- Brindar una visión integral de la reología y su papel fundamental en el procesamiento de alimentos, particularmente en relación con la textura, la viscosidad y el comportamiento de los materiales semisólidos y viscoelásticos durante los procesos de deformación y flujo en el procesamiento de alimentos.
- Introducir a los estudiantes la tecnología de extrusión como una tecnología clave en el procesamiento de materiales alimentarios, destacando su impacto en la textura, la estructura y la funcionalidad del producto, así como en la innovación y la diversidad de productos alimenticios. Esta tecnología permite una producción a gran escala, contrastando con otras tecnologías emergentes que presentan desafíos en términos de escalabilidad. La comprensión de las propiedades reológicas en extrusión es fundamental para el desarrollo de aplicaciones innovadoras, como la impresión 3D de alimentos en contextos más específicos
- Examinar la relación entre las propiedades reológicas y las técnicas de procesamiento, centrándose en cómo estas propiedades influyen en el diseño y la producción de productos alimenticios.
- Explorar aplicaciones innovadoras de materiales de desecho a través de estudios de casos, demostrando cómo la utilización de subproductos se puede integrar en las prácticas de procesamiento de alimentos para reducir el desperdicio y mejorar la sustentabilidad.

Objetivos Particulares:

Reología y Procesamiento de Alimentos

- Describir principios básicos de reología, parámetros fundamentales y las técnicas asociadas, comúnmente usadas
- Describir su importancia en el procesamiento de alimentos y la formulación de productos.
- Entender cómo las propiedades reológicas, como la viscosidad y la viscoelasticidad, afectan la textura, la estabilidad y la procesabilidad de los alimentos.
- Analizar el impacto de las condiciones de procesamiento sobre el comportamiento reológico, con ejemplos prácticos de la industria alimentaria.

Tecnología de Extrusión:

- Describir principios generales del proceso de extrusión, y los tipos de procesos de extrusión utilizados en la producción de alimentos.
- Investigar el efecto de la extrusión sobre las propiedades físicas y la textura de los productos alimenticios.
- Aplicar los conocimientos de extrusión para diseñar y optimizar formulaciones alimentarias, teniendo en cuenta el comportamiento del flujo y los factores reológicos.

- Estudiar ejemplos de utilización de subproductos en el procesamiento de alimentos, con énfasis en su integración en la línea de producción.
- Evaluar el potencial de conversión de subproductos en ingredientes o productos valiosos, con énfasis en la sustentabilidad.

Metodología de Trabajo:

La carga horaria de este Curso de posgrado es de 30 horas: 16 horas teóricas, 12 horas prácticas y 2 horas de trabajo autónomo.

Las actividades en cada uno de los encuentros consistirán en un desarrollo teórico por parte del profesor. Trabajos prácticos relacionados con la teoría y la práctica desarrollada. Se trabajará sobre material propuesto por el docente, se abordarán conceptos básicos fundamentales de Reología y con aplicación a estudiar propiedades de alimentos y su relación al control de procesos. El curso continuará específicamente en el proceso de extrusión describiendo alternativas que incluyen extrusión a baja humedad para la producción de productos expandidos, intermedia humedad para productos texturizados con alto contenido de proteínas, y extrusión a altos contenidos de humedad para producir alimentos basados en proteínas y otras moléculas derivadas de plantas. Conceptos de modelado del proceso de extrusión serán discutidos. Se atenderán consultas sobre estos temas, se mostrarán ejemplos de procesos y métodos asociados para caracterizar la calidad de productos generados. Se resolverán situaciones problemáticas de manera tal de ejemplificar los conceptos teóricos y se orientará a los participantes en la resolución de problemas. Se proveerá de trabajos experimentales prácticos a los alumnos para que los desarrollen durante el curso.

Equipo docente:

Dr. Osvaldo Campanella - Department of Food Science and Technology, The Ohio State University
Dra. Mercedes Rasia - Facultad de Ciencias de la Alimentación UNER, ICTAER CONICET-UNER
Dr. Lucas Benítez - Facultad de Ciencias de la Alimentación UNER

Cronograma del Curso:

Fecha y horario	Tema y modalidad	Docente
27/05/2025 - 9 a 13 hs	Unidad I: Principios Básicos en el área de Reología	Dr. Osvaldo Campanella
27/05/2025 - 14 a 17 hs	Unidad II: Principios de Reología en el Procesamiento de Alimentos	Dr. Osvaldo Campanella
28/05/2025 - 9 a 13 hs	Unidad III: Fundamentos de la Tecnología de Extrusión	Dr. Osvaldo Campanella
28/05/2025 - 14 a 17 hs	Unidad IV: Aplicación de la Extrusión en el Procesamiento de Alimentos	Dr. Osvaldo Campanella
29/052025 - 9 a 13 hs	Unidad IV: Aplicación de la Extrusión en el Procesamiento de	Dr. Osvaldo Campanella

	Alimentos Práctica Práctica - Laboratorio de Reología	 Dra. Mercedes Rasia
29/052025 - 14 a 17 hs	Práctica - Laboratorio de Reología	Dr. Osvaldo Campanella Dra. Mercedes Rasia
30/05/2025 - 9 a 13 hs	Práctica - Extrusión	Dr. Osvaldo Campanella Dra. Mercedes Rasia Dr. Lucas Benítez
30/05/2025 – 14 a 17 hs	Práctica - Extrusión	Dr. Osvaldo Campanella Dra. Mercedes Rasia Dr. Lucas Benítez

Condiciones de Regularidad y Promoción:
Para aprobar el curso es requisito poseer un 75% de asistencia a los encuentros.
La evaluación se realizará a través de la presentación de un trabajo final que consistirá en el análisis de artículos científicos que aborden los temas estudiados en el curso, donde los estudiantes expongan además la relación con sus temas de investigación o trabajo. La modalidad de la evaluación será virtual sincrónica, donde los estudiantes tendrán un tiempo determinado para exponer el análisis desarrollado.

Fecha de Evaluación: jueves 05/06/2025 de 9 a 13 hs (Virtual Sincrónica)

Fecha de Recuperatorio: 19/06/2025

Infraestructura necesaria:
Aula, pizarrón, cañón electrónico, acceso a Internet, aula en el Campus Virtual de la FCAL.
Laboratorio de Reología equipado: Reómetro DHR-1 (TA Instruments), Calorímetro Diferencial de Barrido DSC Q20 (TA Instruments), Determinador de tamaño de partículas Mastersizer 2000 (Malvern Instruments), Determinador de estabilidad Turbiscan Classic (Formulaction), Analizador rápido de viscosidad RVA 4500 (Perten).
Sala de extrusión: Extrusor de doble tornillo Process 16 H (Thermo Scientific)