



Caracterización mecánica del cuero reconstituido a través del ensayo de tracción y fluencia

Mechanical characterization of reconstituted leather through the tension and yield test

Edgard David Mollehuanca Caballero^{1,*}, José Alberto Aguilar Franco², Holger Saúl Perez Montaña^{1,2}

¹Instituto de Ingeniería Energía y Medio Ambiente, Ingeniería Industrial, Arrhenius Research Institute. Universidad Católica San Pablo. Arequipa, Perú.

²Instituto de Ingeniería Energía y Medio Ambiente, Ingeniería Industrial. Universidad Católica San Pablo. Arequipa, Perú.

* emollehuanca@unsa.edu.pe

(recibido/received: 05-abril-2022; aceptado/accepted: 05-junio-2022)

RESUMEN

La combinación de diferentes calidades de residuos de cuero con diferentes polímeros y las propiedades mecánicas resultantes son potencialmente importantes en la obtención de nuevos materiales. En este estudio, experimentos combinando residuos de viruta de cuero, resina vinnapas @400 y agua destilada produjeron un nuevo material compuesto con propiedades mecánicas interesantes. En la elaboración se controló el pH de la viruta de cuero, tamaño de viruta, temperatura de la resina, temperatura de ablandamiento, la presión y el tiempo de presionado ejercido sobre la plancha de cuero reconstituido. Empleando diseño factorial fraccionado se determinó la influencia de las variables independientes seleccionadas: tamaño de la viruta, relación viruta/resina, porcentaje de agua, temperatura de la resina, la presión y el tiempo de presionado sobre las propiedades mecánicas del material compuesto. Los resultados experimentales mostraron que había un efecto principal de la variable relación Viruta/Resina en su valor mínimo sobre el esfuerzo máximo de tracción, llegándose a obtener un valor de 2.657 MPa. Adicionalmente, en el ensayo mecánico de fluencia se encontró que el material compuesto denominado cuero reconstituido muestra un comportamiento viscoelástico, lo que lo asemeja al comportamiento de un cuero curtido.

Palabras clave: Cuero reconstituido; viruta de cuero; matriz termoplástica; ensayo de tracción y fluencia.

ABSTRACT

The combination of different qualities of leather waste with different polymers and the resulting mechanical properties are potentially important for obtaining new materials. In this study, experiments combining leather chip residue, vinnapas @400 resin and distilled water produced a new composite material with interesting mechanical properties. In the elaboration, the pH of the leather chip, chip size, resin temperature, softening temperature, pressure and the pressing time exerted on the reconstituted leather plate were controlled. Using fractional factorial design, the influence of the selected independent variables was determined: chip size, chip/resin ratio, percentage of water, resin temperature, pressure and pressing time on the mechanical properties of the composite material. The experimental results showed that there was a main effect of the Chip/Resin ratio variable at its minimum value on the maximum traction effort, reaching a value of 2,657 MPa. Additionally, in the mechanical creep test, it was found that the composite material called reconstituted leather shows a viscoelastic behavior, which resembles the behavior of tanned leather.

Keywords: Reconstituted leather; leather shavings; thermoplastic matrix; experimental design; tensil and creep test.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el desarrollo de materiales compuestos tiene un gran interés académico, comercial e industrial en el mundo, debido a la notable mejora en las propiedades químicas, físicas y mecánicas del producto final en comparación al material original. Uno de los cambios más resaltantes observados en el desarrollo de materiales compuestos se encuentra en el material de refuerzo, diferentes estudios como el realizado por (Saikia et al., 2017) hace referencia a los materiales de refuerzo tradicionales como la fibra de vidrio, fibra de carbono, entre otras, están siendo reemplazadas por el uso de refuerzos naturales que adicionalmente presentan un menor impacto al medio ambiente vigorizando la temática de materiales ecoamigables. (Ding et al., 2017) actualmente, los residuos de la industria de cueros son desechadas por las empresas que se dedican a la producción de derivados de cueros, al ser tratadas y combinadas con polímeros se extiende su tiempo de vida útil convirtiéndose así en un material eco-amigable, adicionalmente se logra una mejora en propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción y módulo de rigidez las cuales son relevantes cuando se desean buscar aplicaciones similares a las ya existentes o nuevas; todos estos materiales reforzantes de origen natural usan generalmente una matriz de origen polimérico. Las investigaciones llevadas a cabo por (Kale y Jadhav, 2019) y (Teklay et al., 2017) refieren a la clasificación de los polímeros, dentro de los cuales se tienen a los termoplásticos y a los termorígidos, los estudios desarrollados por ambos autores sugieren que las resinas termoplásticas causan menor impacto sobre el medio ambiente. (Cosavalente, 2019), presentó un informe en el cual indicaba que la región Arequipa se ubica en el tercer lugar de producción de cuero a nivel nacional, con una producción del 3.8% a nivel nacional, lo cual garantiza la obtención de materia prima de virutas de cuero del proceso de curtido. Un estudio acerca de la fibra de cuero como material de refuerzo puede verse en (Senthil et al., 2015) donde obtuvieron planchas compuestas a partir de viruta de cuero combinados con hilos mezclados de algodón y poliéster. Existen tecnologías alternativas como las desarrolladas en los estudios de investigación (Chongyi et al., 2014) y (Ambone et al., 2017), los cuales buscaron elaborar materiales compuestos a partir de las virutas de cuero variando el tamaño de la viruta y aplicando presión homogénea en la formación del material compuesto, obteniendo materiales con buena resistencia a la tracción y estabilidad térmica. En una investigación sobre el impacto del tamaño a nivel microscópico (Babanas et al., 2001), indican que el producto compuesto debe de ser considerado como un factor a ser tomado en cuenta debido a que tiene influencia sobre los puntos débiles de concentración de carga, estas cargas se eliminaron en las muestras analizadas, teniendo así un incremento en los valores de resistencia mecánica, similar comportamiento fue observado por (Mohamed et al., 2010) al aumentar el porcentaje de viruta, mejoró la dureza e incrementó la densidad, sin embargo, las propiedades de tracción y elongación disminuyeron.

La investigación de (Rowell et al., 1997), demostró la influencia en la capacidad de absorción de agua que presenta la viruta, generando hinchamiento de la fibra, conllevando a la formación de agujeros y microgrietas en la región de interfaz de la matriz con la fibra, resultando en una reducción de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos. En el estudio de (Medina et al., 2009), evaluaron la influencia de diferentes presiones en la formación del material compuesto, para evitar daños estructurales a la fibra, para el autor la presión de fabricación para materiales compuestos reforzados con fibra debe ser menor a 60 bar (870 psi), al usar esta presión obtuvieron valores más altos de propiedades mecánicas de flexión en cambio cuando sobrepasaron esta presión, las fibras sufrieron roturas en su estructura debilitando el material compuesto y disminuyendo dichas propiedades de flexión. La versatilidad en su uso de la viruta de cuero fue evaluada por (Moses y Sumathi, 2017), obteniendo material de cuero reconstituido en una matriz polimérica de botellas de HDPE, con buenas propiedades mecánicas y como una alternativa al reemplazo de materiales sintéticos similares al cuero curtido. Para conseguir una buena interfaz de la unión entre el material reforzante y la matriz, se debe tener en cuenta el comportamiento marcado que presenta la fibra de viruta de cuero y la matriz polimérica, mientras que el refuerzo de origen natural presenta un

comportamiento hidrofílico, la matriz posee un carácter hidrofóbico, en la investigación llevada a cabo por (Santos et al., 2015), sometieron al material de refuerzo a tratamientos previos como la neutralización de pH de la viruta, los cuales tuvieron como principal objetivo modificar la superficie externa de la fibra consiguiendo una mejor interface fibra/matriz.

En una investigación llevada a cabo por (Cañas et al., 2012), tomaron como elección las variables presión, temperatura, relación resina/viruta de cuero y porcentaje de agua en peso, determinando que las variables más influyentes sobre las variables respuestas son la temperatura en su valor mínimo y la relación resina/viruta de cuero en su valor máximo. En otra investigación, (Liu y Li, 2016), con virutas de cuero como material de refuerzo en una matriz polimérica de resina termoplástica, el material compuesto exhibió mejores propiedades mecánicas, mejor estabilidad térmica y mejor resistencia al agua que el PVA (alcohol polivinílico), estableciendo así una tecnología rentable y amigable con el medio ambiente.

Existe un potencial para ser usado en la industria de curtiembre de la región Arequipa las cuales generan residuos sólidos como la viruta de cuero, estos residuos pueden ser usadas como refuerzo para la obtención de materiales compuestos en una matriz termoplástica a través de las modificaciones de sus atributos físicos y químicos. En la presente investigación se propone una nueva alternativa para elaborar un nuevo material compuesto, usando residuos de viruta de cuero como material reforzante y como matriz polimérica, una resina de comportamiento termoplástico, con el objetivo de caracterizar sus propiedades mecánicas como resistencia máxima a la tracción y fluencia.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

La viruta de cuero fue proporcionada por la empresa Piel del Sur Arequipa – Perú, la viruta es parte de los desechos de la producción de cuero curtido con los cuales trabaja en su producción. Antes de realizar los experimentos la muestra fue neutralizada químicamente para modificar químicamente la superficie de la muestra para ser usados posteriormente como materia prima y material de refuerzo para la elaboración de la plancha de material compuesto denominado cuero reconstituido, la resina termoplástica Vinnapas 400® fue adquirida de la compañía Wacker Chemie AG® y fue empleada como matriz.

2.2 Metodología

La metodología utilizada fue el diseño experimental de un cuarto fraccionado, debido al número de variables propuestas y el modelo fue obtenido mediante el software Stat Graphics®. Para la relación de mezcla, se empleó la fórmula peso/peso y las relaciones establecidas fueron 25%, 30% y 35%, se empleó una balanza digital (METTLER – AE100) con cuatro dígitos de precisión para pesar cada uno de los componentes, los componentes del proceso de mezcla son: viruta de cuero, resina termoplástica y agua destilada.

El modelo estadístico factorial fraccionado obtenido se muestra a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Modelo Estadístico Factorial Fraccionado

Escenario #	Tamaño de Viruta mm	Viruta/Resina % P/P	% Agua	Temperatura de la Resina °C	Presión psi	Tiempo de Presionado min.
1	2.54	25	20	35	400	10
2	5.08	25	20	35	1200	10
3	2.54	35	20	35	1200	20

4	5.08	35	20	35	400	20
5	2.54	25	30	35	1200	20
6	5.08	25	30	35	400	20
7	2.54	35	30	35	400	10
8	5.08	35	30	35	1200	10
9	2.54	25	20	65	400	20
10	5.08	25	20	65	1200	20
11	2.54	35	20	65	1200	10
12	5.08	35	20	65	400	10
13	2.54	25	30	65	1200	10
14	5.08	25	30	65	400	10
15	2.54	35	30	65	400	20
16	5.08	35	30	65	1200	20
17	3.81	30	25	50	800	15
18	3.81	30	25	50	800	15
19	3.81	30	25	50	800	15

Fuente: Elaboración Propia

2.3 Preparación de la Viruta de Cuero

La viruta recolectada de la empresa Pieles del Sur de la ciudad de Arequipa, antes de realizar los experimentos, se le midió el porcentaje de humedad, resultando en una media de 30% (con una desviación de +/- 0.2%) después de un análisis por triplicado; posteriormente se procedió a moler en el molino de martillos de acuerdo a los tamices seleccionados, culminado este proceso se neutralizaron las tres medidas de viruta establecidas, las cuales fueron 2.54 mm, 3.81 mm y 5.08 mm, con bicarbonato de sodio en agua destilada, el pH inicial registró un valor de 4 el cual coincide con la investigación llevada a cabo por (Rajaram et al., 2009), completado el proceso de neutralizado el pH final fue de 7, se procedió a filtrar cada una de las muestras en papel filtro y se secaron en el horno a una temperatura promedio de 105 °C por un lapso de tiempo de 5 horas completando así el proceso y quedando preparadas para su utilización como materia prima en la elaboración del material compuesto.

2.4 Preparación de la Muestra de Cuero Reconstituido

La preparación de las diferentes muestras del material compuesto se realizó basadas en las siguientes relaciones 20, 25 y 30% P/P. Antes de realizar la mezcla se calentó la resina previamente hasta los valores propuestos en el diseño experimental, la homogenización de la mezcla se realizó con un dispositivo con control de la velocidad de 1500 rpm por un lapso de tiempo de 3 minutos, para obtener una mezcla homogénea, se utilizó una paleta tipo mariposa construida en acero inoxidable para evitar reacciones secundarias. Posteriormente, la mezcla se depositó en un molde de acero galvanizado de dimensiones de 210 mm x 150 mm x 6 mm, donde se llevó a cabo la formación de la plancha, luego de ello se trasladó la muestra a un molde de vidrio de dimensiones similares teniendo en cuenta la cantidad total de 96 muestras para culminar con el proceso de secado a temperatura ambiente, el cual se consiguió luego de transcurridas 96 horas. Culminado el proceso de secado las muestras fueron guardadas en bolsas ziploc con cierre hermético evitando de esta manera que puedan absorber humedad del ambiente que afecten sus condiciones iniciales de elaboración, cabe mencionar que el análisis de humedad de las muestras arrojó distintos porcentajes debido a las condiciones propias de elaboración de cada escenario dadas por el diseño experimental, el rango mínimo y máximo de valores que se tuvo fue de 4 y 25% respectivamente. Las muestras fueron rotuladas y almacenadas con el número de escenario correspondiente a cada una. El

prensado de las muestras se realizó empleando los valores de presión y tiempo indicados en la tabla 1 (mínimo de 400 psi – 10 minutos y máximo de 1200 psi – 20 minutos), la presión se aplicó para uniformizar la plancha y disminuir los defectos internos que pudieran haber dejado la desaparición de burbujas en el interior de la plancha de cuero reconstituido al momento del secado, previamente al prensado las muestras se introdujeron en el horno a 130 °C por un espacio de 10 minutos, el objetivo fue ablandar el entrecruzamiento formado por la resina con la viruta de cuero sin llegar a la temperatura de degradación de la resina y no dañar la estructura al momento de realizar el prensado si se hubiera llevado a cabo en frío. Culinado el proceso de prensado las muestras fueron guardadas en sus bolsas correspondientes para su posterior corte y preparación de probetas para el ensayo mecánico de tracción.

2.5 Caracterización Mecánica

Las pruebas del ensayo de tracción fueron llevadas a cabo en la máquina de tracción MTS Landmark, la cual posee una capacidad de carga de hasta 100 kN, las pruebas se realizaron a una carga de 10 kN y a una velocidad de 5 mm/min, de esta manera se pudo realizar la caracterización mecánica de las muestras.

La máquina de tracción MTS Landmark (Figura 1), cuenta con las siguientes partes:

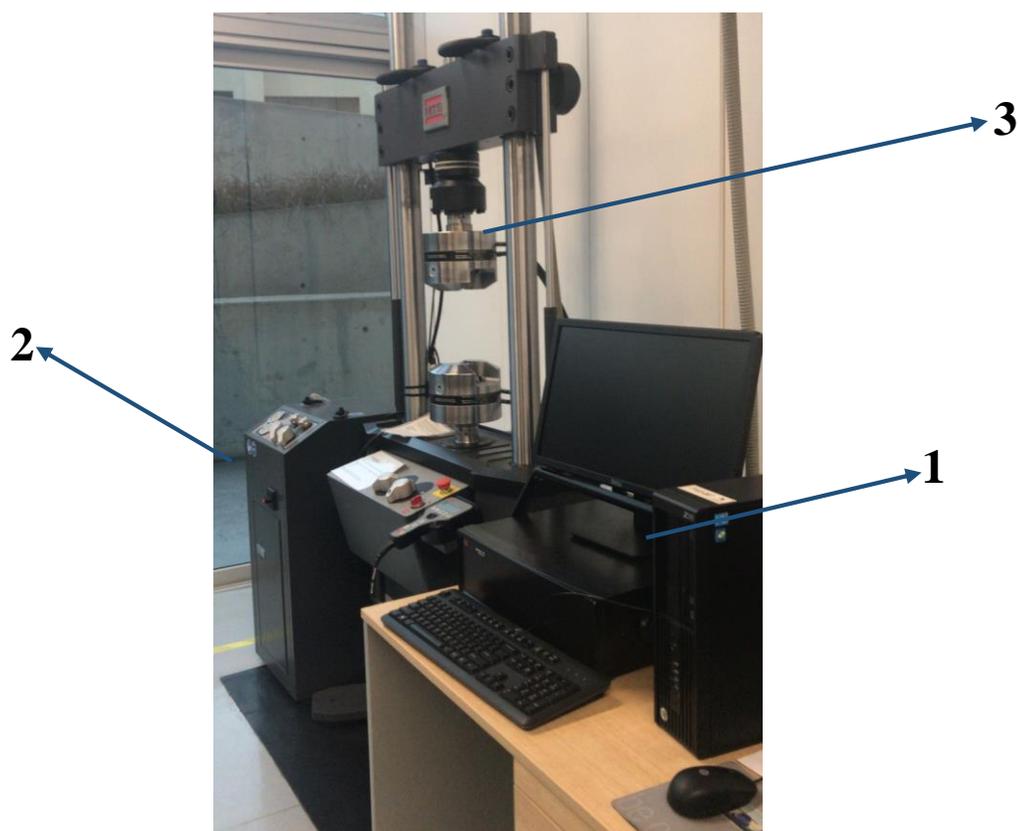


Figura 1. Máquina de Ensayo de Tracción MTS Landmark
Fuente: Elaboración Propia

1. Software controlador MTS FlexTest (Serie 793) – Aplicación Station Manager: El software permite controlar el bastidor de carga a través del controlador del ordenador del usuario
2. Controlador: El controlador proporciona la interfaz necesaria entre el ordenador y el bastidor de carga. Adicionalmente para este equipo en particular, aquí se encuentra el módulo de control de sujeción hidráulica para las muestras.

3. Bastidor de Carga MTS Landmark: La máquina electromecánica se utiliza para aplicar fuerzas a las muestras con el fin de probar sus propiedades mecánicas.

La unidad de carga consta de un bastidor de carga más piezas adicionales que se muestran en la figura 2.

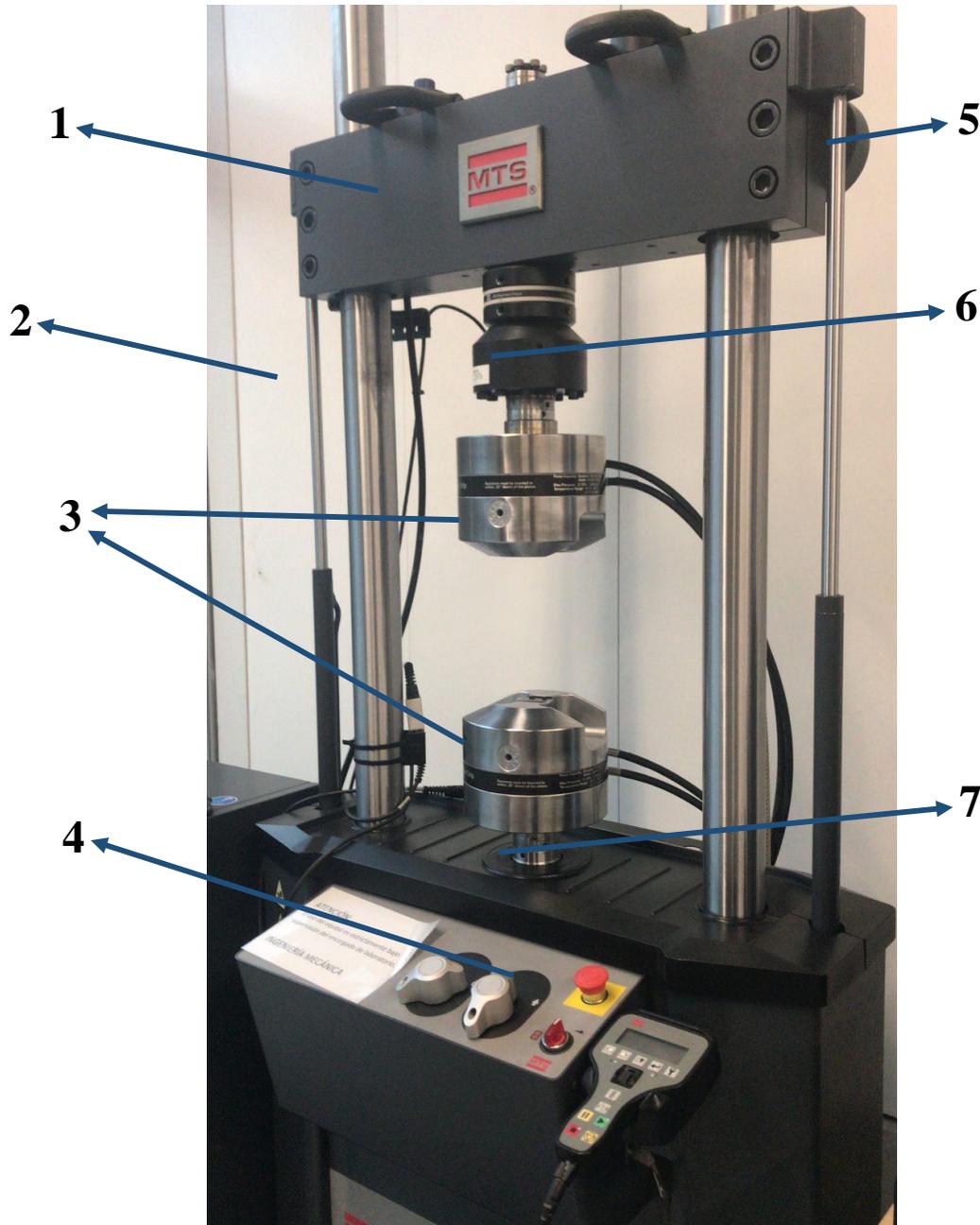


Figura 2. Bastidor de Carga
Fuente: Elaboración Propia

Los componentes se describen a continuación:

1. Cabezal transversal: Desplaza hacia arriba y abajo las columnas para incorporar muestras de diferentes longitudes.

2. Elevadores hidráulicos de cabezal transversal: Suben y bajan el cabezal transversal.
3. Sujeciones: Sujeta y mantiene la muestra en su posición durante la prueba.
4. Módulo de control del bastidor de carga: Contiene los controles de elevación del cabezal transversal, así como el interruptor de parada de emergencia.
5. Bloqueos hidráulicos del cabezal transversal: Sujetan el cabezal transversal a las columnas.
6. Sensor de fuerza (célula de carga): Envía una señal proporcional a las fuerzas aplicadas de nuevo al ordenador por medio del controlador. La célula de carga mide las fuerzas de tracción y compresión.
7. Actuador: Aplica fuerza a las muestras. Aplica fuerzas de compresión y de tracción.

Para las pruebas del ensayo de tracción se emplearon muestras rectangulares debido a la dificultad que presentaba el material compuesto para ser cortado en forma de mancuerna, las probetas fueron medidas con un vernier digital y sus medidas fueron de 130 mm x 25 mm x 6 mm aproximadamente y registradas en tablas para ser utilizados en los cálculos posteriores correspondientes para determinar la resistencia de tracción máxima. Adicionalmente luego de dicho ensayo, se procedió a realizar el ensayo de fluencia a la muestra que tuvo el mayor valor de esfuerzo máximo de tracción de los 19 escenarios.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Formado de la plancha

Con la masa ya obtenida del proceso de mezclado, se procedió a formar la plancha en moldes de espesor de 6 mm. Aplicando presión manual a lo largo de todo el molde hasta no tener ninguna cavidad sin llenar. Como resultado se obtuvo la formación uniforme de una plancha rectangular de 15 cm x 21 cm de cuero reconstituido tal como se aprecia en la figura 3. Los parámetros de elaboración para esta plancha en particular fueron: 5.08 mm de tamaño de viruta, 25% de relación Viruta/Resina, 20% de agua, 65 °C de temperatura de la resina, 1200 psi de presión y 20 minutos de tiempo de presión. Esta muestra tuvo como porcentaje de humedad final 4.86% y pH 7 hasta esta etapa del proceso. La muestra se dejó secando a temperatura ambiente por un espacio de 96 horas para posteriormente pasar a la etapa de prensado.



Figura 3. Plancha formada en molde
Fuente: Elaboración Propia

3.2 Ensayo de Tracción

Las probetas de cuero reconstituido diseñadas con las medidas indicadas anteriormente, fueron colocadas en las mordazas de la máquina de tracción MTS Landmark, para cada uno de los 19 escenarios se realizaron

6 repeticiones del ensayo de tracción a las cuales se les midieron el esfuerzo máximo de tracción para ser promediadas posteriormente como se muestra en la tabla 2, se reguló la presión de las mordazas de la máquina para prevenir formación de grietas y daños en la estructura de sujeción de la probeta como se aprecia en la figura 4.



Figura 4. Probeta sometida a tracción
Fuente: Elaboración Propia

Luego de someter todas las probetas al ensayo de tracción y realizar los cálculos correspondientes, se obtuvieron los valores de los esfuerzos máximos de tracción de cada escenario planteado en el diseño experimental estadístico factorial fraccionado, los resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Valores de Esfuerzo Máximo de Tracción.

ESCENARIO #	ESFUERZOS MÁXIMOS DE TRACCIÓN MPa						PROMEDIO DE ESFUERZOS MÁXIMOS DE TRACCIÓN MPa
1	1.855	1.629	2.003	1.845	2.27	1.914	1.856
2	1.782	1.644	1.428	1.683	1.476	1.538	1.474
3	0.1	0.092	0.078	0.134	0.12	0.144	0.129
4	0.657	0.49	0.607	0.478	0.478	0.406	0.471
5	1.157	1.379	1.076	1.031	1.255	1.394	1.061
6	1.299	1.305	1.128	1.137	1.014	1.161	1.146
7	0.13	0.138	0.128	0.151	0.11	0.189	0.147
8	0.492	0.546	0.461	0.076	0.181	0.188	0.319
9	1.097	1.474	1.427	1.054	1.426	1.308	1.199
10	2.257	1.706	1.637	2.657	2.161	1.996	1.971
11	0.132	0.13	0.122	0.014	0.079	0.103	0.123
12	0.484	0.323	0.383	0.334	0.337	0.376	0.373
13	0.45	0.539	0.465	0.264	0.567	0.786	0.415
14	1.428	1.79	1.249	1.19	1.158	1.132	1.427
15	0.182	0.17	0.122	0.136	0.172	0.186	0.172
16	0.281	0.257	0.256	0.161	0.166	0.21	0.241

17	1.251	1.139	0.829	1.267	0.98	1.25	1.165
18	1.182	1.386	1.201	1.055	1.087	1.182	1.133
19	0.866	1.218	1.073	0.781	0.652	0.692	0.843

Fuente: Elaboración Propia

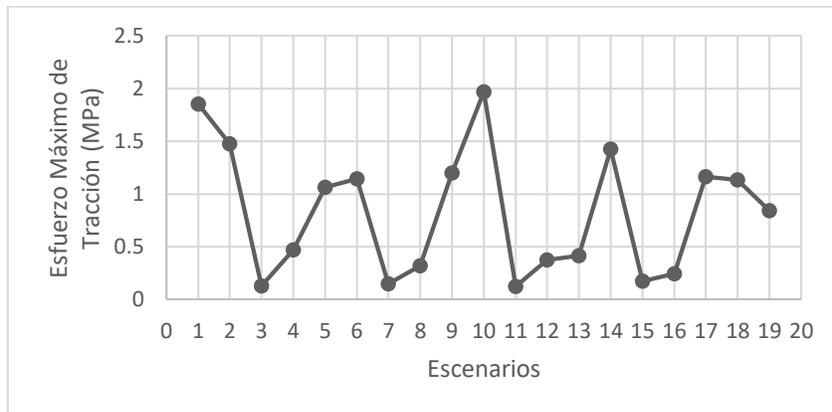


Figura 5. Valores Máximos de Esfuerzo de Tracción

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la figura 5, indican el valor más alto que corresponde al escenario #10 con una deformación a la rotura de 20 mm desde su $L_0 = 80$ mm y el valor más bajo que corresponde al escenario #11 con una deformación a la rotura de 11 mm desde su $L_0 = 80$ mm. Esta variación en la deformación a la rotura para ambas muestras podría deberse al tamaño de la viruta empleada en ambos escenarios, mientras que para el escenario #10 fue de 5.08 mm, para el escenario #11 fue de 2.54 mm, este resultado coincide con la investigación desarrollada por (Urrego et al., 2017), quienes al agregar mayor cantidad de residuos de cuero posindustriales en cauchos naturales y sintéticos generaron un efecto reforzante en el material compuesto, al mismo tiempo que se disminuyó la capacidad de deformación de los materiales compuestos, sin embargo, este efecto estuvo altamente influenciado por el tamaño de las partículas de los residuos de cuero que emplearon.

Tabla 3. Valores de Densidad

Escenario 10	Escenario 11
1.176 g/cm ³	1.324 g/cm ³
1.177 g/cm ³	1.324 g/cm ³
1.171 g/cm ³	1.324 g/cm ³
1.171 g/cm ³	1.325 g/cm ³
1.176 g/cm ³	1.324 g/cm ³

Fuente: Elaboración Propia

El análisis de densidad para las muestras con mayor y menor resistencia a la tracción, es decir el escenario #10 y #11 respectivamente se realizó usando un picnómetro Ultrapycnometer 1200e, marca Quantachrome, la densidad se incrementó con el aumento de la cantidad de viruta como se ve en la tabla 3 ya que para el escenario #10 fue de 1.174 g/cm³ promedio y para el escenario #11 fue de 1.324 g/cm³ promedio, este hallazgo se asemeja al encontrado en (Yepes et al., 2017), quienes encontraron que la densidad de entrecruzamiento medida en tolueno aumentó con la adición de los residuos de cuero tratado o sin tratar.

El escenario #10, el cual fue el que obtuvo el mejor promedio de resistencia a la tracción de las 6 repeticiones estadísticas realizadas, fue elaborado de acuerdo a los siguientes valores de las variables independientes:

- Tamaño de Viruta: 5.08 mm
- Viruta/Resina: 25 %
- Agua: 20 %
- Temperatura: 65 °C
- Presión: 1200 psi
- Tiempo de Presión: 20 minutos

Se verifica que un menor contenido porcentual de viruta en la mezcla generan los mejores resultados de resistencia máxima de tracción, resultados similares fueron reportados por (Musa et al., 2017), quienes obtuvieron buenas propiedades mecánicas empleando bajas cantidades de relleno de viruta de cuero en el material compuesto que elaboraron, sin embargo, (Viteri y Valle, 2015), en sus resultados obtuvieron mejores propiedades mecánicas de resistencia a la tracción empleando mayor contenido de viruta de cuero; dicha discrepancia podría deberse a que en el presente estudio se está considerando a la variable independiente porcentaje de agua, esta variable en el estudio de (Viteri y Valle, 2015) no fue considerado.

Mediante el software Statgraphics se obtuvo el análisis de la varianza como se observa en la tabla 4. La variable independiente más influyente corresponde a la relación Viruta/Resina ($p < 0.05$) sobre el esfuerzo máximo de tracción como se contrasta con la investigación de (Sumathi y Senthil, 2016), quienes determinaron que la variable más influyente fue la proporción de fibra empleada. El valor obtenido del coeficiente de determinación R^2 que es 0.91 indica el buen ajuste del modelo lineal de los datos para el esfuerzo máximo de tracción.

Tabla 4. Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:TamViruta	0.3364	1	0.3364	2.97	0.1455
B:Viruta/Resina	4.59459	1	4.59459	40.54	0.0014
C:Agua	0.444889	1	0.444889	3.93	0.1044
D:Temperatura	0.0290702	1	0.0290702	0.26	0.6341
E:Presión	0.0699603	1	0.0699603	0.62	0.4676
F:TiempoPres	0.004096	1	0.004096	0.04	0.8567
AB	0.0267323	1	0.0267323	0.24	0.6477
AC	0.007921	1	0.007921	0.07	0.8020
AD	0.222312	1	0.222312	1.96	0.2202
AE	0.311922	1	0.311922	2.75	0.1580
AF	0.002916	1	0.002916	0.03	0.8788
BD	0.008464	1	0.008464	0.07	0.7956
BF	0.00148225	1	0.00148225	0.01	0.9134
Error total	0.566645	5	0.113329		
Total (corr.)	6.6274	18			

Fuente: Elaboración Propia

La ecuación final en términos de factores codificados se muestra a continuación:

$$\text{Esfuerzo Máximo de Tracción} = 4.66481 + 0.114173*\text{TamViruta} - 0.107175*\text{Viruta/Resina} - 0.03335*\text{Agua} - 0.00284167*\text{Temperatura} - 0.000165312*\text{Presión} + 0.0032*\text{TiempoPres}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95.0%.

La figura 6, muestra el diagrama de Pareto Estandarizado para la Resistencia Máxima de Tracción.

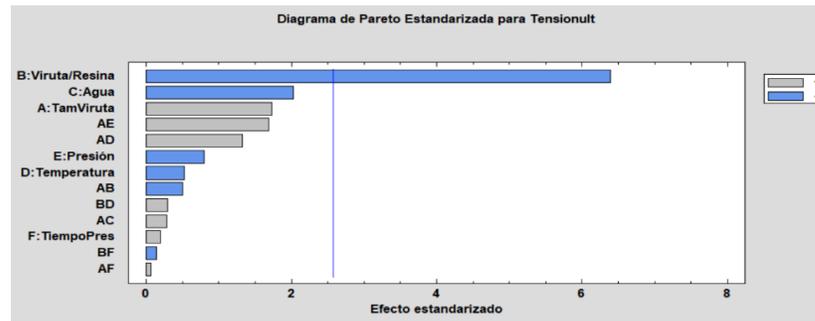


Figura 6. Diagrama de Pareto Estandarizado
Fuente: Elaboración Propia

En el diagrama de Pareto se muestra la fuerte incidencia que presenta la variable Viruta/Resina sobre la resistencia máxima de tracción. De acuerdo al orden, la siguiente variable con mayor incidencia corresponden al %Agua. De acuerdo a ello se obtuvo la función con ambas variables que se muestra a continuación:

$$\text{Tensionult} = 4.86958 - 0.106713 \cdot \text{Viruta/Resina} - 0.0338375 \cdot \text{Agua}$$

Realizando los ajustes correspondientes se procedió a realizar el gráfico de contorno para la resistencia máxima de tracción en función de ambas variables más influyentes que se muestra en la figura 7.

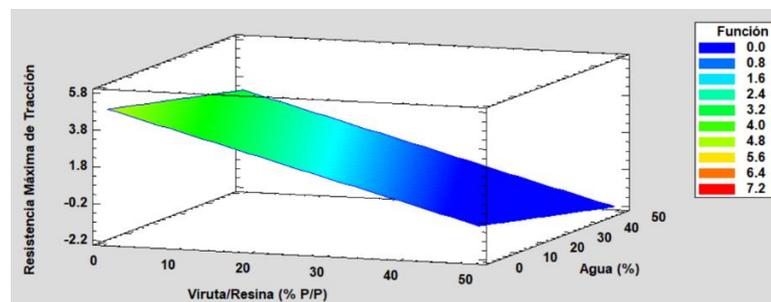


Figura 7. Diagrama de contorno de la resistencia máxima de tracción
Fuente: Elaboración Propia

3.3 Ensayo de Fluencia

Para el ensayo de fluencia se seleccionaron las muestras elaboradas del escenario que tuvieron mayor esfuerzo de tracción, en este caso correspondiente al escenario 10 del diseño experimental. Los valores de las variables independientes con las que se elaboraron las muestras del escenario #10 fueron: 5.08 mm para el tamaño de viruta, 25% para la relación Viruta/Resina, 20% de agua, 65 °C de temperatura para la resina, 1200 psi de presión por 20 minutos. El resultado del análisis de fluencia indica una mejor resistencia a la tracción y permite trabajar el ensayo de fluencia, lo cual coincide con el estudio de (Varghese et al., 1994), a mayores cantidades de carga se tendrá mayor anisotropía mecánica en la muestra y por ende menor resistencia a la tracción. Se trabajaron con dos muestras de 130 mm x 25 mm x 6 mm cada una elaborada de acuerdo a los parámetros del escenario 10, a la primera muestra se le aplicó un esfuerzo del 60% de su esfuerzo máximo de tracción promedio, mientras que a la segunda muestra se le aplicó un esfuerzo del 75%

de su esfuerzo máximo de tracción promedio, el valor de esfuerzo correspondiente a 60% fue de 1.183 MPa, mientras que el valor de esfuerzo para 75% fue de 1.478 MPa. Se muestran en la figura 8, las curvas de fluencia obtenidas luego de realizar el ensayo y se distingue el comportamiento viscoelástico de las muestras de cuero reconstituido correspondiente al escenario #10, teniendo en cuenta el estudio realizado (Li et al., 2009), a cueros curtidos, podemos afirmar que ambos presentan una semejanza en cuanto a su comportamiento viscoelástico. A la muestra del escenario #10 a la que se le aplicó el 75% del esfuerzo máximo de tracción promedio alcanzó la fluencia terciaria a una deformación aproximada de 17 mm. como se aprecia en la figura 8. esta zona es plástica y sufre una deformación permanente hasta fallar, debido a que las fibras alcanzan su alargamiento máximo. Mientras que la muestra del escenario #10 a la que se le aplicó un 60 % del esfuerzo máximo de tracción promedio, transcurridas aproximadamente 6 horas de ensayo, la muestra continuaba en la zona de fluencia secundaria o denominada también estacionaria.

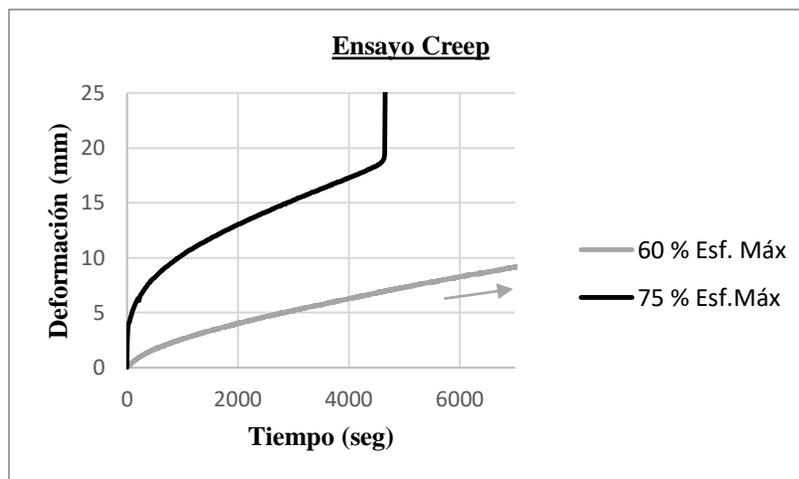


Figura 8. Ensayo de Fluencia del Escenario #10 del Diseño Experimental.
Fuente: Elaboración Propia

4. CONCLUSIONES

Se obtuvieron planchas de cuero reconstituido a partir de los residuos sólidos de viruta de cuero como material de refuerzo en una matriz polimérica termoplástica del total de las combinaciones planteadas en el diseño experimental, la combinación con el mayor resultado en cuanto a la caracterización mecánica correspondió al escenario #10 cuya relación Viruta/Resina fue de 25% y un porcentaje de agua de 20%, mientras que el menor resultado obtenido correspondió al escenario #11 cuya relación de Viruta/Resina fue de 35% y un porcentaje de 20%.

El análisis de la varianza de los resultados mecánicos sobre el diseño experimental indicó que la variable de mayor influencia sobre la resistencia máxima de tracción es la relación viruta/resina en su valor mínimo, seguida de la variable porcentaje de agua también en su valor mínimo. El mayor valor promedio de resistencia máxima a la tracción que se obtuvo fue de 1.971 MPa.

En el análisis de fluencia realizado a las muestras correspondientes al escenario #10 se determinó el comportamiento viscoelástico de las muestras debido a la distribución desordenada de la viruta de cuero en la matriz termoplástica y se demostró que es posible trabajar con el 60% de su esfuerzo máximo de tracción sin que ocurra una falla catastrófica por al menos 400 minutos.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue financiado por el CONCYTEC – PROCENCIA en el marco de la convocatoria E041-01 CONTRATO 040-2018-FONDECYT-BM-IDAT-AV.

A los Institutos de Ingeniería Energía y Medio Ambiente y Arrhenius Research Institute donde se llevaron a cabo la elaboración de las planchas de cuero reconstituido y a la Universidad de Ingeniería y Tecnología de la ciudad de Lima donde se llevó a cabo el ensayo de tracción a las probetas de cuero reconstituido.

REFERENCIAS

Ambone, T., Joseph, S., Deenadayalan, E., Mishra, S., Jaisankar, S. y Saravanan, P. (2017). Polylactic Acid (PLA) Biocomposites Filled with Waste Leather Buff (WLB). *J. Polym. Environ.*, vol. 25, no. 4, pp. 1099–1109, doi: 10.1007/s10924-016-0891-3.

Babanas, K., Tarantili, P. y Andreopoulos, A.G. (2001). Plasticized poly(vinyl chloride) filled with waste leather particles. *Journal of Elastomers and Plastics*, 33(1), 72–85. <https://doi.org/10.1106/69D3-L9GT-2YEM-R43C>

Cañas, D., Alvarez, M. y Díaz, D. (2012). Evaluación de las condiciones de mezclado de una dispersión copolimérica de vinil acetato y éster acrílico con residuos sólidos de cuero. *Iteckne*, vol. 9, no. 2, pp. 78–84, doi: 10.15332/iteckne.v9i2.85

Chongyi, L., Feng, X. y Enyong, D. (2014). Preparation, Properties, and Characterization of Novel Fine Leather Fibers/Polyvinyl Alcohol Composites. *Society of Plastics Engineers*, doi: 10.1002/pc.23019.

Cosavalente, I. (2019). Perú: Situación Actual del Sector Cuero y Calzado. IV Congreso Nacional de Cuero y Calzado. Lima – Perú.

Ding, C., Zhang, M., Dai, L., Qi, Y., Shi R. y Yang, J. (2017). Fabrication and characterization of regenerated leather using chrome shavings as raw materials. *J. Am. Leather Chem. Assoc.*, vol. 112, no. 5, pp. 145–152.

Kale, R., Jadhav, N. (2019). Utilization of waste leather for the fabrication of composites and to study its mechanical and thermal properties. *SN Appl. Sci.*, vol. 1, no. 10, pp. 1–9.

Li, Z., Paudecerf, D. y Yang, J. (2009). Mechanical Behaviour of Natural Cow Leather in Tension. *Acta Mechanica Solida Sinica*. Vol. 22, N° 1. Pp. 37 – 44.

Liu, Y., Wang, Q. y Li, L. (2016). Reuse of leather shavings as a reinforcing filler for poly (vinyl alcohol). *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, vol. 29, no. 3, pp. 327–343, doi: 10.1177/0892705713518794.

Medina, L., Schledjewski, R. y Schlarb, A.K. (2009). Process related mechanical properties of press molded natural fiber reinforced polymers. *Spec. Issue 12th Eur. Conf. Compos. Mater. ECCM 2006*, vol. 69, no. 9, pp. 1404–1411, doi: 10.1016/j.compscitech.2008.09.017.

Mohamed O., El Sayed, N. y Abdelhakim, A. (2010). Preparation and Characterization of Polyamide-Leather Wastes Polymer Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 118, pp. 446–451, doi: 10.1002/app.31711.

Moses J., Sumathi, M. (2017). Experimental analysis and Mechanical Characterization of HDPE waste and Leather Waste Polymer Composites. *Advances in Natural and Applied Sciences*, vol. 11, no 8, pp. 59–63.

Musa, T., Hamza, A., Ahmed, S. y Ishiuku, S. (2017). Investigation of the Mechanical and Morphological Properties of High-Density Polyethylene (Hdpe)/Leather Waste Composites. *Journal of Applied Chemistry*. Vol 10. Ver 1. Pp 48 – 58.

Rajaram, J., Rajnikanth, B. y Gnanamani, A. (2009). Preparation, Characterization and Application of Leather Particulate-Polymer Composites (LPPCs). *J. Polym Environ.* 17:181-186.

Rowell, M., Sanadi, R., Caulfield, F. y Jacobson, E. (1997). Utilization of Natural Fibers in Plastic Composites: Problems and Opportunities. *Journal of Thermoplastic Composites Materials*, Vol. 15, No. 4, pp. 281 – 300.

Saikia, P., Goswami, T., Dutta, D., Kumar, N., Sengupta, P. y Neog, D. (2017). Development of a flexible composite from leather industry waste and evaluation of their physico – chemical properties. *Clean Technologies and Enviromental Policy*. 19, 2171 – 2178.

Santos, R., Agostini, D., Cabrera, Budemberg, E. y Job, A. (2015). Recycling leather waste: Preparing and studying on the microstructure, mechanical, and rheological properties of leather waste/rubber composite. *Polym. Compos.*, vol. 36, no. 12, pp. 2275–2281, doi: 10.1002/pc.23140.

Senthil. R., Hemalatha, T., Kumar, B., Uma, T., Das, B. y Sastry, T. (2015). Recycling of finished leather wastes: A novel approach. *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 17, no. 1, pp. 187–197, doi: 10.1007/s10098-014-0776-x.

Sumathi, V., Senthil, R. (2016). Physico – Chemical Properties of Reconstituted Fibers Composite Prepared from Leather Waste. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*. Vol. 7. Ver. 4. Pp 105 – 110.

Teklay, A., Gebeyehu, G., Getachew, T., Yaynshet, T. y Sastry, T. P. (2017). Conversion of finished leather wasted incorporated with plant fibers into value added consumer products – An effort to minimize solid waste in Ethiopia. *Waste Management (New York)*. 68, 45 – 55.

Urrego, W., Cardona, N., Velásquez, S. y Carrascal, C. (2017). Review – Characterization of Rubber Compounds with Post – Industrial Leather Waste. *Prospectiva*. Vol.15. N° 2. Pp 13 – 25.

Varghese, S., Kuriakose, B., Thomas, S. y Koshy, A. (1994). Mechanical and viscoelastic properties of short fiber reinforced natural rubber composites: effects of interfacial adhesion, fiber loading, and orientation. *Journal of Adhesion Science and Technology*. Vol. 8. Ver. 3. Pp. 235 – 248.

Viteri, V., Valle, V. (2015). Evaluación preliminar de la incorporación de virutas de cuero como refuerzo en matriz polimérica de poli (vinil alcohol). *Ciencia e Ingeniería*. Vol. 36. N° 3. Pp 159 – 166.

SEMBLANZA DE LOS AUTORES



Edgard David Mollehuanca Caballero: Obtuvo el grado de Ingeniero de Materiales en la Universidad Nacional de San Agustín, Perú. Actualmente se desempeña profesionalmente laborando en la Universidad Católica San Pablo, Perú, como tesista de investigación para obtener el grado académico de magister con mención en ciencia y tecnología de materiales en la Universidad Nacional de San Agustín (UNSA), Perú.



José Alberto Aguilar Franco: Obtuvo el grado de Ingeniero Industrial en la Universidad Católica San Pablo, Perú, donde actualmente es profesor titular, además de Ingeniero de Investigación del Programa de Iniciación Científica, formulador de proyectos y Coordinador General del Instituto de Energía y Medio Ambiente de la Universidad Católica San Pablo. Desarrolló sus estudios de Maestría en la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro (PUC – Río) y Universidad Nacional de San Agustín, Perú (UNSA). Ha desarrollado una estancia de Investigación en Italia para Capacitación en Uso de

Maquinarias Ecológicas. Cuenta con experiencia como asesor de Tesis, además trabaja como Formulator de Proyectos bajo la modalidad de concurso a nivel Nacional en proyectos de Investigación e Innovación convocadas por el Estado Peruano.



Holger Saúl Perez Montaña: Investigador principal del Instituto de investigaciones Arrhenius (ARI). Miembro del grupo de materiales biomiméticos y biofuncionales de la Facultad de Física Universidad de Sevilla. Miembro fundador del Instituto de Bioingeniería Aplicada UNSA. Docente de postgrado en FCNF UNSA. Docente de Postgrado de la Escuela de Postgrado UNSAAC. Presidente del Capítulo Nacional del International Association for Geoethics (IAGETH), Investigador invitado en Arizona State University. Coordinador de la Sociedad Científica de Astrobiología del Perú. Asesor del Grupo de Inmunología (GII-UNSA). Químico graduado en la Universidad Nacional de San Agustín Arequipa (UNSA). Inicialmente con estudios en metabolitos secundarios. En el 2007 seleccionado por el programa NASA/PBI (Planetary Biology Internship) para participar en la Investigación sobre orígenes de la vida en SIO-UCSD. Realizó sus estudios de maestría en Química con énfasis en Físico-Química donde se evaluó la formación de aerosoles ácidos en la alta troposfera/baja estratosfera en San Jose State University-USA, proyecto de Investigación financiado por NASA – Ames. Investigador asociado en Scripps Institution of Oceanography (SIO- UCSD) donde realiza estudios en la búsqueda de los orígenes de la vida en rocas sedimentarias de 3.8- 2.8 billones de años y NASA Ames donde se investiga desiertos hiperáridos análogos a Marte. En el CITEM viene desarrollando investigaciones sobre las propiedades mecánicas y plásticas de polímeros formados a partir de relaves mineros. Investigador Visitante en Caltech y Lawrence Berkeley National Laboratory y consultor externo en SETI Institute. Asesor del grupo Killa Lab. CEO Arrhenius Institute Research. Formulator de proyectos de investigación en ciencias básicas y aplicadas. Actualmente realiza sus actividades académicas y de investigación en la ciudad de Arequipa-Perú.