



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS

AGROPECUARIAS

CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA Y

ZOOTECNIA

**“Diseño e impresión de una prótesis osteointegrada en 3D
para pacientes con amputación transhumeral”**

TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MÉDICO VETERINARIO

AUTOR: HUILLCA CHIRIBOGA SILVIA JAQUELINE

DIRECTOR: DR. CASTILLO HIDALGO EDY PAÚL, MCS.

CUENCA – ECUADOR

2021

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS
CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA Y
ZOTECNIA**

“Diseño e impresión de una prótesis osteointegrada en 3D para pacientes
con amputación transhumeral”

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MÉDICO VETERINARIO**

**AUTOR: HUILLCA CHIRIBOGA SILVIA JAQUELINE.
DIRECTOR: DR. CASTILLO HIDALGO EDY PAÚL, MCS.**

**CUENCA – ECUADOR
2021
DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Silvia Jaqueline Huilca Chiriboga portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0605299676**. Declaro ser la autora de la obra: “**Diseño e impresión de una prótesis en 3D para pacientes con amputación transhumeral**”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **18 de octubre de 2021**

.....
Silvia Jaqueline Huilca Chiriboga

C.I. 0605299676

I. CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Huilca Chiriboga Silvia Jaqueline, bajo mi supervisión.

Dr. Edy Paul Castillo Hidalgo, Msc.
DIRECTOR

II. DEDICATORIA

Años atrás perdí a una de las personas más importantes de mi vida, a esa persona que mucho antes de que yo naciera, trabajo pensando en darme un mejor futuro, que a pesar de su cansancio siempre tuvo una caricia, una sonrisa, un abrazo, un consejo para guiarme por un buen camino. Tu fe en Dios, tu humildad, tu forma de perdonar son las virtudes que siempre admiraba y respetaba, por esto todos mis logros serán mirando al cielo dedicadas a ti mi amado padre.

También con mucho amor este trabajo va dedicado a mi madre esa mujer de acero que a pesar que la vida le ha golpeado de varias maneras siempre está para apoyarme, a mis hermanos Narcisa, Patricio, Manuel, William, Gladis, Nelson y de forma especial a mi hermanito que está en el cielo junto a mi padre sin usted no lo lograría los amo.

Silvia Jaqueline Huillca Chiriboga

III. AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme salud y la vida por guiarme en mi camino permitiendo cumplir una meta más.

A mis padres por apoyarme, confiar en mí y nunca dejarme sola, por brindarme una buena educación tanto académica como de la vida.

A la prestigiosa universidad que me abrió las puertas a un mundo de saberes, a mis profesores por haberme impartido su conocimiento y formado como profesional.

A mi tutor Dr. Edy castillo, Dr. Johny Uday, Dr. Jaime Vallejo, Dr. Pablo Rubio que me ayudaron con mi trabajo investigativo.

Silvia Jaqueline Huílca Chiriboga

IV. ÍNDICE GENERAL

I. DECLARACIÓN	-----	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
II. CERTIFICACIÓN	-----	IV
III. DEDICATORIA	-----	V
IV. AGRADECIMIENTO	-----	VI
V. ÍNDICE GENERAL	-----	VII
VI. ÍNDICE DE FIGURAS	-----	IX
VII. ÍNDICE DE CUADROS	-----	X
VIII. ÍNDICE DE ANEXOS	-----	XI
IX. RESUMEN	-----	XII
X. ABSTRACT	-----	XIII
CAPÍTULO 1	-----	14 -
1.1	Introducción -----	14 -
1.2	Planteamiento del problema -----	16 -
1.3	Justificación -----	17 -
1.4	Antecedentes -----	18 -
1.5	Objetivos -----	19 -
CAPÍTULO 2	-----	20 -
2. MARCO TEORICO	-----	20 -
2.1	Población canina en el ecuador -----	20 -
2.2	Anatomía de las extremidades delanteras -----	20 -
2.3	Fisiología de los miembros anteriores -----	22 -
2.4	Desplazamiento en perros -----	23 -
2.5	Biomecánica -----	24 -
2.6	Traumatismos óseos -----	25 -
2.7	Amputación -----	27 -
2.7.1.1	Amputaciones traumáticas. -----	27 -
2.7.1.2	Amputaciones congénitas. -----	28 -
2.7.1.3	Amputaciones quirúrgicas. -----	28 -
2.8	Prótesis -----	28 -
2.9	Materiales de prótesis -----	30 -
2.10	Impresiones de prótesis -----	31 -
2.11	Métodos de impresión 3D -----	31 -
2.12	Prótesis en 3D -----	33 -
2.13	Materiales utilizados para las impresiones en 3D -----	34 -
2.14	Prótesis osteointegradas -----	34 -
2.15	Bienestar animal -----	36 -

CAPÍTULO 3	- 38 -
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	- 38 -
3.1 Lugar de estudio	- 38 -
3.2 Datos informativos de la paciente	- 39 -
3.3 Evaluación de la paciente	- 39 -
3.4 Desarrollo de la prótesis	- 39 -
3.5 Aplicación de la prótesis	- 40 -
3.6 Variables a evaluar	- 41 -
3.7 Estudio de comportamiento (Etograma)	- 41 -
3.8 Medición de las variables	- 42 -
3.9 Equipos y materiales	- 44 -
CAPÍTULO 4	- 45 -
4. RESULTADOS	- 45 -
4.1 Desarrollo del prototipo de prótesis	- 45 -
4.2 Análisis de los resultados de la biocompatibilidad mediante las tomografías	- 45 -
4.3 Análisis de los resultados de los exámenes realizados a la paciente antes y después de la anexión de la prótesis.	- 46 -
21.3 g/DI	- 46 -
4.4 Resultados de la medición de las variables asociadas al bienestar del canino intervenido:	- 47 -
CAPÍTULO 5	- 56 -
5. DISCUSIÓN	- 56 -
CAPÍTULO 6	- 57 -
6. CONCLUSIONES	- 57 -
CAPÍTULO 7	- 58 -
7. RECOMENDACIONES	- 58 -
XI. BIBIOGRAFÍA	- 59 -
XII. ANEXOS	- 65 -

V. ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Ilustración 1:</i> ubicación del lugar donde se construyó la prótesis. _____	- 38 -
<i>Ilustración 2:</i> Ubicación donde se realizó la investigación. _____	- 38 -
<i>Ilustración 3:</i> Primera libertad libre de hambre, sed y desnutrición. _____	- 48 -
<i>Ilustración 4:</i> Segunda libertad: libre de molestias físicas y térmicas. _____	- 50 -
<i>Ilustración 5:</i> Tercera libertad libre de dolor, lesión y enfermedad _____	- 52 -
<i>Ilustración 6:</i> Cuarta libertad libre de temor y angustia. _____	- 53 -
<i>Ilustración 7:</i> Quinta libertad: libre de manifestar un comportamiento natural	- 55 -

VI. ÍNDICE DE CUADROS

<i>Tabla 1: Estudio de comportamiento (Etograma)</i> -----	42 -
<i>Tabla 2: Características de la prótesis</i> -----	45 -
<i>Tabla 3: Resultados hemograma</i> -----	46 -
<i>Tabla 4: Resultados química sanguínea</i> -----	47 -
<i>Tabla 5: Primera libertad del animal</i> -----	48 -
<i>Tabla 6: Segunda libertad del animal</i> -----	49 -
<i>Tabla 7: Tercera libertad del animal</i> -----	51 -
<i>Tabla 8: Cuarta libertad animal</i> -----	53 -
<i>Tabla 9: Quinta libertad animal</i> -----	54 -

VII. ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Examen tomográfico _____	- 65 -
ANEXO B: Diseño de la prótesis _____	- 65 -
ANEXO C: Exámenes preoperatorios _____	- 66 -
ANEXO D: Preparación, Cirugía ortopédica e implante de la prótesis _____	- 67 -
ANEXO E: Recuperación del paciente _____	- 68 -
ANEXO F: Medición de la prótesis _____	- 69 -
ANEXO G: Evaluación de la paciente _____	- 69 -
ANEXO H: Segundos estudios tomográficos _____	- 70 -
ANEXO I: Biocompatibilidad de la poliamida 6.6 _____	- 70 -
ANEXO J: Exámenes para evaluar la biocompatibilidad _____	- 71 -
ANEXO K: Bocetos _____	- 72 -
ANEXO L: Evaluación de la paciente _____	- 72 -
ANEXO M: Autorización de la publicación en el Repositorio Institucional _____	- 75 -

VIII. Resumen

La investigación tuvo como objetivo diseñar e imprimir en 3D una prótesis osteointegrada para pacientes con amputación transhumeral (desarticulación del codo). El estudio se llevó a cabo mediante la selección y evaluación de la paciente, el diseño y colocación de la prótesis y la evaluación de la biocompatibilidad de la prótesis y del bienestar animal. La muestra estuvo conformada por un paciente canino hembra, de 5 años de edad, con un peso de 5.50 Kg. Para el diseño de la prótesis se sacó un prototipo en tamaño real de la tomografía computarizada (TAC) y se procedió a ingresar la malla en un programa para diseño 3D (*Blender*), luego de seleccionar el prototipo, se procedió a realizar la impresión 3D del modelo final de la prótesis y su aplicación a través de la cirugía. La paciente fue observada por 30 días, según la tomografía realizada dos meses después de la intervención se determinó un alto nivel de biocompatibilidad con el material utilizado en la construcción de la prótesis, la paciente no presentó complicaciones, secreciones o infecciones, presentando una alta efectividad de la adaptación a la prótesis, evidenciándose mediante el comportamiento posterior a la intervención quirúrgica y según el bienestar mostrado en relación a encontrarse libre de hambre, sed, desnutrición, molestias físicas y térmicas, libre de dolor, lesión, enfermedad, temor, angustia y libre de manifestar un comportamiento natural.

Palabras clave: *Prótesis en 3D, osteointegrada, amputación transhumeral, biocompatibilidad y bienestar animal.*

IX. Abstract

This research aimed to design and 3D print an osseointegrated prosthesis for patients with transhumeral amputation (elbow disarticulation). The study was conducted through patient selection and evaluation, prosthesis design and placement, and assessment of prosthesis biocompatibility and animal welfare. The sample consisted of a female canine patient, 5 years old, weighing 5.50 kg. For the design of the prosthesis, a life-size prototype was taken from the computed tomography (CT) and the mesh was entered into a 3D design program (Blender). After selecting the prototype, the 3D printing of the final prosthesis model and its application through surgery was performed. The patient was observed for 30 days, according to the tomography performed two months after the intervention, it was determined a high level of biocompatibility with the material used in the construction of the prosthesis, the patient did not present complications, secretions, or infections, presenting high effectiveness of adaptation to the prosthesis, evidenced by the behavior after surgery and according to the welfare shown concerning being free of hunger, thirst, malnutrition, physical and thermal discomfort, free of pain, injury, disease, fear, anguish and free to manifest a natural behavior.

Keywords: *3d prosthesis, osseointegrated, transhumeral amputation, biocompatibility and animal welfare.*

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

(Cornejo y Sinchi , 2018) manifiestan que el incremento en de la población en caninos es de un 85%,en tanto que en humanos el crecimiento es del 23.5%, por lo tanto es muy notable la diferencia en ambas poblaciones, Galarza (2016), es su estudio denominado "Prevalencia de diabetes mellitus en perros mayores de 7 años con sobre peso (ICC>4)", indica que en la ciudad de Cuenca existen aproximadamente 101.300 perros, de los cuales el 40% son callejeros y el 60 % tiene hogar, por su parte el diario el mercurio (2020) de la ciudad de Cuenca, en su publicación digital de fecha 01 de noviembre, informa que los colectivos de defensa de los derechos de los animales, estiman que en la provincia del Azuay existen alrededor de 60.000 perros abandonados de los cuales 2.000 se encuentran en refugios y centro de rescate, Rubio (2019) indica que existe un estimado de 500.000 perros callejeros a nivel país en tanto que, Mora (2019) manifiesta que existe un aproximado de 600 millones de perros en el mundo, de los cuales el 80 % viven en condiciones de calle, convirtiéndose en un problema de salud pública ya que estos animales deambulan a diario en busca de alimentos, en los residuos de basura de las ciudades.

Las prótesis son una herramienta que se ha venido utilizado desde la antigüedad para ayudar a la población que por diferentes razones se vieron en la necesidad en remplazar una parte del cuerpo que fue afectada por diversos motivos, una de ellas es la amputación por traumatismo o por ausencia de alguna parte del cuerpo en problemas congénitos (Eugenio *et al.*, 2016). Las funciones que cumplen las prótesis es corregir, estabilizar o proteger la parte afectada con la finalidad que el paciente vuelva a integrarse a su vida normal, dándole la oportunidad de realizar sus actividades cotidianas, quizás no con la misma facilidad que antes pero si mejorando la calidad de vida de los pacientes(Larrea Zapatier, 2017).

En los últimos años se ha utilizado tecnología en 3D, la cual está enfocada en la construcción de prótesis a la medida, logrando así mejor la calidad de vida de los pacientes que por traumatismo hayan perdido una o dos de sus extremidades presentando problemas de equilibrio, desplazamiento y en algunos casos hasta la postración, dado que no pueden valerse por sí mismo, siendo este un problema para sus dueños, muchos de los cuales toman la decisión de eutanasia a su mascota (Noblecilla, 2017). Siendo este análisis el que nos ha llevado a la presentación del presente proyecto de diseño e implementación de prótesis 3D en medicina veterinaria, con las cuales se brindara mayor comodidad y una funcionalidad al paciente llegando incluso a emular la extremidad remplazada.

1.2 Planteamiento del problema

En el país no existe datos estadísticos de caninos que sufran alguna discapacidad o lesiones, causado daños temporales o permanentes, en hospitales, clínicas veterinarias así como en fundaciones se presenta una gran cantidad de pacientes con problemas ortopédicos, sin embargo los médicos que brindan sus servicios en estos lugares manifiestan que el equipo, con el cual cuentan para su recuperación es mínimo, en tanto que en otros países, existe un sin número de equipos ortopédicos de rehabilitación, y un facilidad para adquirir una prótesis para sus mascota en caso de ser necesario, en tanto que en el país ya sea por su poca demanda o el valor económico de estas, optan por otras alternativas, que deterioran la calidad de vida del paciente (García, 2019).

1.3 Justificación

El propósito de la investigación propuesta es diseñar e imprimir en 3D una prótesis osteointegrada que conlleve a mejorar la calidad de vida de los perros con problemas de discapacidad, brindando una alternativa a bajo costo, brindando un mayor acceso a este tipo de implantes a los pacientes que hayan sufrido amputación de uno o varios de sus miembros, promoviendo además la tenencia y adopción de perros con problemas de movilidad, a través del uso de las prótesis, la que les permitirán movilizarse de manera independiente cumpliendo las normativas de las 5 libertades del bienestar animal.

1.4 Antecedentes

Durante muchos años las prótesis de extremidades han servido para solucionar los problemas de movilidad en pacientes amputados o que han nacido con alguna deformidad, las amputaciones son muy frecuentes en medicina veterinaria, debido a que cuando existen traumatismos, problemas oncológicos, o el paciente presenta una aplasia a nivel óseo lo primordial es salvar la vida del paciente, tratamiento que en muchas ocasiones puede llevar a la pérdida total o parcial del miembro afectado, minimizando las capacidades físicas del paciente, volviéndose en algunos casos una carga para sus dueños, así mismo las consecuencias de este tipo de procedimientos quirúrgicos pueden llegar a afectar las articulaciones, y causar deformidades óseas en el paciente debido al desequilibrio que causa la amputación de un miembro, más aún si es en la parte anterior del cuerpo ya que en los caninos la mayor parte del peso recae en sus extremidades anteriores (Castellanos y Beltrán, 2019).

Uno de los primeros acercamientos en este tipo de tratamientos en el Ecuador fue a principios del 2012, el doctor Olger Altuna diseño y dono una prótesis para un perro de raza grande, el cual tenía una extremidad delantera amputada, diseñando una prótesis experimental que mejoro su movilidad y le permitió reposar sus miembros amputados en ella y caminar con más facilidad, en esta investigación se evidenció la necesidad de implementar equipos ortopédicos en medicina veterinarios para perros con discapacidades diferentes (Noblecilla, 2017).

Tomando en cuenta la cantidad de perros que han sufrido diferentes traumatismos, los cuales han causado lesiones temporales o definitivas, se ha iniciado la utilización de las tecnologías como las impresiones en 3D, facilitando al médico veterinario mejores opciones para su paciente (Cadena, 2013).

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Diseñar e imprimir en 3D una prótesis osteointegrada para un paciente canino con amputación unilateral transhumeral.

1.5.2 Objetivos específicos

- Diseñar e imprimir en 3D el prototipo de una prótesis endomedular mediante el uso de poliamida 6.6 para su aplicación en un paciente canino con amputación transhumeral unilateral.
- Aplicar el prototipo de la prótesis endomedular impresa en el animal con amputación transhumeral.
- Evaluar el nivel de osteointegración de la poliamida 6.6 en el cuerpo del paciente.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Población canina en el Ecuador

Es incontrolable el crecimiento de la población canina en el Ecuador, provocando así un impacto no solo en la salud pública y al bienestar animal, sino que también afecta al ecosistema, ámbito financiero y emocional, en nuestro país es preocupante la cantidad de perros callejeros que deambulan por las calles dando un mal aspecto en las ciudades (Cadena, 2013).

Es lamentable ver como en la ciudad de Cuenca y en todo el país el abandono de los animales se ha convertido como algo normal, este incremento se ha venido dando por la falta de cultura y sensibilidad de las personas, como también por la falta de leyes que castiguen el abandono de estos. Según Bernal y Galarza (2014), en el cantón Cuenca existe un aproximado de 15.000 perros, callejeros, las causas más probables de abandono entre son: Enfermedades, reproducción no deseadas, cambios de vivienda, problemas de agresividad, discapacidad por varios factores.

2.2 Anatomía de las extremidades delanteras

La anatomía de un canino es muy amplia en esta oportunidad pondremos énfasis en el estudio del miembro anterior el cual está formado por: escápula, húmero, radio, cúbito, carpo, metacarpo y falanges (INT, 2016).

2.2.1 Escápula.

Se trata de un hueso plano en forma de triángulo la misma que se coloca a 45° la cual costa de dos caras, una cara interna la cual se encuentra en contacto con las costillas y una cara externa donde existe una prominencia longitudinal llamada espina de la escápula, tiene 3 bordes superior, inferior y posterior, la región formada por la escápula se le denomina como espalda, (Ruberte, 2004).

2.2.2 Húmero.

Es un hueso largo el cual consta de dos extremos superiores donde se encuentra la cabeza del húmero, la misma que se articula con la escápula formando la articulación escápula-humeral y un extremo inferior donde se articula con el radio y cúbito formando así el codo, la región formada por el humero se le conoce como brazo (Morales, 2009).

2.2.3 Radio y cubito

Se compone de dos huesos largos el radio se ubica en la parte del frente el mismo que en la parte superior del hueso se articula con el húmero y en la parte inferior con el cúbito, el cubito consta de una parte denominada olécranon el cual constituye la mayor parte de este hueso el cual se proyecta hacia arriba y hacia atrás, estos dos huesos se articulan con los huesos del carpo en la parte inferior, esta región se le conoce como antebrazo (Jaramillo , 2021).

2.2.4 Carpo

El carpo se articula en la parte superior con el radio y cúbito y en la parte inferior con los metacarpos se forma de siete huesos los cuales se distribuye tres en la fila superior y 4 en la fila inferior (Ruberte, 2004).

2.2.5 Metacarpos

Se constituye cinco metacarpianos en la parte superior se articulan con la fila inferior de los carpos y en la parte inferior con las falanges de forma individual, el primer metacarpiano es el más corto y el tercero y cuarto los más largos (Morales, 2009).

2.2.6 Falanges.

Los cinco dedos están formados de tres falanges con excepción del primero el cual solo consta de dos falanges, el tercero y cuarto dedo son los más largos, la primera falange en la parte superior se articula individualmente las falanges y en la parte inferior con la segunda falange y esta a su vez con la tercera esta última falange está recubierta por la uña (Morales, 2009).

2.3 Fisiología de los miembros anteriores

El movimiento de los miembros anteriores involucra el movimiento de todos los huesos, y unos de los principales movimientos corresponde al húmero, los movimientos de la escápula están relacionada con los movimientos de toda la extremidad es por esto que esta estandarizada con el húmero, el esqueleto axial y apendicular le permite al perro el desplazamiento, que junto a otras estructuras como músculos, tendones, cartílagos interactúan en el movimiento del animal. (Barrientos y Saenz, 2002)

- Desplazamiento: acción de las articulaciones deslizantes, ocurre en las superficies yuxtapuestas en articulaciones artrodiales.
- Flexión: acción del movimiento sagital en el cual se disminuye el ángulo entre los segmentos que se articulan.
- Extensión: este movimiento se da en el plano sagital en el cual aumenta el ángulo entre los segmentos articulares, es un movimiento antagónico de la flexión.
- Hiperextensión: en este movimiento los ángulos de los segmentos articulares exceden los 180° o se colocan en líneas rectas a esta hipertensión se le conoce como flexión dorsal, en algunos animales el menudillo este hiperextendido y esto se le conoce como una acción normal.
- Rotación: acción en el cual existe una torsión de un segmento en alrededor de su propio eje.
- Aducción: acción de una extremidad o miembro hacia el plano medio.

- Abducción: acción por el cual una extremidad o miembro se aleja de su plano medio.
- Circunducción: es una combinación de los movimientos anteriores en excepción del movimiento de rotación, es la acción de que una extremidad describe un cono y el otro extremo de esta extremidad describe un círculo.
- Pronación: este movimiento es inusual en animales de compañía se trata de un movimiento de una extremidad en el cual el dorso queda hacia arriba.
- Supinación: movimiento muy raro en animales de compañía es un movimiento donde la extremidad gira a la superficie palmar. (Martin, 2017)

2.4 Desplazamiento en perros

2.4.1 Fuerzas que intervienen en el desplazamiento

La conexión muscular de las extremidades anteriores y el tronco ayuda a un sistema amortiguador liberando así movimientos en sentido craneal o caudal de la escápula para la propulsión y el movimiento dorsal o ventral, pero al no poseer una conexión articulada sus movimientos son limitados en algunas direcciones (Collin,2019).

En la articulación ósea de la cadera coxo-femoral perteneciente a las extremidades posteriores es donde más se libera el impulso del movimiento realizando así un esfuerzo de atracción que impulsa el desplazamiento del cuerpo, la pelvis, el sacro y la cola se mantienen sujetas al eje raquídeo mediante músculos, ligamentos y uniones óseas, estas tres últimas partes se pueden mover de forma independiente con respecto a la columna vertebral, las extremidades posteriores permiten acción de abducción y aducción (Barrientos y Saenz, 2002)

2.4.2 Equilibrio

El sistema de equilibrio de los animales se encuentra en las extremidades a la cual se le conoce como el sistema de sostén del cuerpo contra la gravedad, las extremidades delanteras realiza la función de amortiguamiento y las extremidades posteriores ejecutan impulso el cual interviene en el desplazamiento, este equilibrio se manifiesta de diferentes formas dependiendo de la especie animal, condición corporal, condiciones de vida y depende del estado del aparato locomotor (Dauvergne & Desachy, 2018).

El puente de arco tenso de gray y sliper se refiere que el peso del cuerpo recae en el arco que está formado por las vértebras dorso-lumbares, pelvis, músculos y ligamentos, mientras que el esternón, la línea alba y el musculo recto-abdominal es el encargado de la cuerda tensora, esto permite que los animales de cuatro patas realicen una fuerza de tensión, tracción y presión permitiendo así un equilibrio a nivel del arco y así evita que todo el peso recaiga en las extremidades, (Osbahar & Azumendi, 2009)

2.5 Biomecánica

La biomecánica es fundamental en el desarrollo de la ingeniería del tejido óseo, los aspectos iniciales de la biomecánica son esenciales para un enfoque en la ingeniería de los tejidos funcionales, también intervienen los aspectos del micro movimiento de la interfaz, la biomecánica en los perros se divide en 60% del peso y equilibrio se concentra en la parte superior y los otros 40% en la parte superior es por esto que, si el animal sufre algún tipo de amputación severa afectado por sobrecarga alguna de las extremidades, así como también la columna vertebral que al pasar el tiempo estas zonas se debilitan y causan enfermedades, es por esto que la utilización de una prótesis les ayuda que los animales tengan mejor estabilidad y no limita sus actividades diarias (Pioletti, 2010).

2.6 Traumatismos óseos

El traumatismo óseo se considera que es una rotura de la sustancia ósea o el cambio en la forma normal del hueso. Esta lesión deriva de la aplicación de una fuerza mayor a la que el hueso puede resistir. Dentro de la categoría del traumatismo óseo se incluyen: fracturas importantes por la gravedad de la afectación del hueso hasta fisuras apenas perceptibles (García, Quintero, y Pulido, 2017).

2.6.1 Tipos de traumatismo

Las lesiones óseas se producen por diferentes causas que se conocen como el mecanismo de producción de fracturas y, aunque pueden ser variables e innumerables, generalmente pueden clasificarse dentro de las siguientes categorías, planteadas por González (2018):

- Traumatismo directo: se produce por un impacto que afecta de forma directa al punto fracturado.
- Traumatismo indirecto: la fractura se origina a cierta distancia de la fuerza que la produce.
- Traumatismos patológicos: se genera por un evidente debilitamiento del hueso producido por alguna patología que puede llegar a romperlo incluso bajo fuerzas leves.
- Traumatismos o fracturas por estrés: son provocadas por fuerzas que actúan sobre el hueso con cierta frecuencia, aun cuando puede darse por intensidades relativamente bajas.

Del mismo modo González (2018) hace una clasificación de acuerdo al tipo de traumatismo, a la violencia de la fuerza que la genera, al daño a las partes blandas, tal como se presentan a continuación, traumatismo en función a la violencia de la fuerza que la genera:

- Traumatismo de alta energía, provocado por la aplicación de una intensa fuerza y, por lo general, momentánea. Puede llegar a producir una gran fragmentación en el hueso y por ello presentar una afectación grave en las partes blandas que lo recubren.
- Fracturas de baja energía: ocurren por caídas accidentales o movimientos inapropiados o repetitivos. Suelen presentarse en individuos de edad avanzada o con mala calidad ósea.

Una fractura puede ser clasificada según el rastro o patrón físico que sigue el traumatismo o fractura, pueden generarse una infinidad de líneas de fracturas según Peña (2019) podemos hacer la siguiente clasificación de las mismas

- Fractura transversal: forma una línea que es perpendicular al eje largo del hueso.
- Fractura oblicua: la línea muestra una leve inclinación sobre el eje longitudinal del hueso.
- Fractura de ala de mariposa: es un rastro típico cuando se producen fuerzas de flexión sobre el hueso. Presenta un fragmento intermedio en forma de cuña.
- Fractura espiroidal: en la mayoría de los casos resulta de fuerzas de torsión y la línea gira en espiral alrededor del hueso.
- Fractura segmentaria: son aquellas en las que un segmento óseo se aísla completamente de los extremos, presentando un inminente riesgo de pérdida de riego sanguíneo.
- Fractura conminuta: en estos casos la fractura presenta múltiples fragmentos.
- Fractura de la parcela: son roturas en zonas no esenciales o estructurales del hueso; como por ejemplo las avulsiones, que ocurren cuando una fuerza muscular significativa desgarrar la parte del hueso donde está anclado el músculo.
- Incurvación: no es una lesión común y se considera una deformación plástica del hueso.

- Fractura impactada: cuando se confronta una fuerza de compresión (y especialmente en áreas de hueso esponjoso), los fragmentos se comprimen entre sí.
- Fractura en tallo verde: la fractura del hueso es incompleta, con una forma que recuerda a una rama verde medio rota.
- Fracturas epifisarias: son comunes en perros jóvenes que se encuentran en etapa de crecimiento. Las placas epifisarias o de crecimiento son zonas blandas en los extremos de los huesos que pueden fracturarse fácilmente al golpearse o realizar algún movimiento brusco, sufrir una caída, etc.

2.7 Amputación

La amputación es considerado el procedimiento quirúrgico más antiguo, es una cirugía destructiva que puede convertir en constructiva al frenar la enfermedad o el daño de la extremidad amputada, es un procedimiento de separación de una parte del cuerpo, por lo general un miembro superior o inferior, después de que el paciente se haya sometido a un procedimiento de amputación es fundamental iniciar una terapia de rehabilitación y entrenamiento para la colocación de la prótesis, teniendo en cuenta la importancia del estado del muñón (Vázquez, 2016).

2.7.1 Tipos de amputación

2.7.1.1 Amputaciones traumáticas.

Estas amputaciones se dan cuando existe algún tipo de traumatismo, ya sea por accidente de tránsito, domestico, o por proyectiles, la cual puede ser completa cuando hay una separación total del miembro, o parcial cuando el segmento amputado queda conectado a través de algún tejido, cuando existen esta amputación se puede intentar reimplantar la parte afectada, sin embargo no es seguro ya que puede haber alguna contaminación o daños tisulares los mismos que con el tiempo nos va a llevar a una amputación (Farro y Tapia, 2013).

2.7.1.2 Amputaciones congénitas.

Esta se da al momento del nacimiento por la ausencia parcial o completa de un miembro, esta se puede ser una detención trasversal o longitudinal del crecimiento (López, 1946).

2.7.1.3 Amputaciones quirúrgicas.

Consiste en un tratamiento quirúrgico donde se extrae una parte del cuerpo, estas pueden ser una amputación cerrada donde el hueso es cubierta por un colgajo de tejido muscular y cutáneo y las amputaciones abiertas donde la piel no se cierra en el muñón de la amputación (Jaramillo , 2021)

2.8 Prótesis

Es acto de mejorar o reemplazar la función de una extremidad perdida, con un objeto de plástico, madera, hierro, o aluminio, las prótesis ayudan al desarrollo psicológico de los pacientes ya que estos permiten que el paciente recobre la movilidad y el aspecto de la extremidad reemplazada (Pardo Jiménez *et al.*, 2004).

La utilización de las prótesis se remonta a la época egipcia, ya que hay registro de momias con dedos de madera, los cual se presume perdieron en una de sus guerras. Es así que existen pruebas de que el general romano Marco Sergio utilizaba una prótesis en su mano que había perdido en la segunda guerra Púnica(Pardo Jiménez *et al.*, 2004).

Se dice que, en la edad media, se usaba prótesis de madera, cuero o aluminio, los cuales eran en cierto punto estorbosas y pesadas para las personas que la usaban, pero estas en si se utilizaban en forma estética, ya que daban un aspecto diferente a las personas que perdieron una extremidad, es así que muchas veces simplemente se utilizaba un gancho en remplazo a la extremidad(Galli y Pelozo, 2017).

En 1536 el médico francés Ambroise Paré desarrolló una prótesis sencilla de brazo y mano con funciones básicas, la mano de esta constaba de un asa que permitía el manejo de una pluma de escribir. Ya en el siglo XVI el alemán Gotz Von Berlinchingen desarrolló una mano de hierro con dedos móviles cuyo pulgar era estático, mientras los otros dedos tenían la mayoría de movimientos de una mano normal (López Contreras, 2016).

Las prótesis que se utilizan actualmente son más ligeras y llevaderas para los pacientes, la utilización de la robótica en fabricación de estas prótesis funcionales permite que el paciente recupere su estilo de vida mejorando también la imagen ya que estas prótesis son similares a la extremidad remplazada, están elaboradas de aluminio y materiales compuesto (López Contreras, 2016).

2.8.1 Prótesis en medicina veterinaria

A medida que la medicina y la tecnología ortopédica ha ido avanzado, hoy en día ya es posible el diseño y la elaboración de prótesis, para animales que han sufrido algún tipo de traumatismos que haya terminado en una amputación, o el hecho de nacer sin sus extremidades estas prótesis se han convertido en una ayuda para mejorar la calidad de vida de nuestros pacientes (Larrea, 2017).

2.8.2 Tipos de prótesis

2.8.1.1 Mecánica.

Es una prótesis con movimientos limitados cumpliendo funciones básicas como la apertura y cerrado de mano, y el agarre de algún objeto y es controlado por un arnés que se encuentra sujeto a otra extremidad (Arszola, 2011).

2.8.1.2 Eléctrica.

Son controladas por medio de servo controles, un botón pulsador o un interruptor con arnés que utilizan motores eléctricos para su funcionamiento, su gran desventaja es el precio de adquisición o su reparación (Brito y Quinde, 2013).

2.8.1.3 Neumática:

Funciona con aire a presión obtenidas de un compresor el cual provoca una gran fuerza y movimientos rápidos, sus desventajas son los dispositivos utilizados para el control y funcionamiento, así como también el mantenimiento de estas prótesis son muy costosas (Arszola, 2011).

2.8.1.4 Hídricas:

Es controlada por las acciones del cuerpo con el accionamiento por electricidad, usualmente utilizan un codo o rodilla accionado mediante el cuerpo que termina con un dispositivo mioeléctrica, la cual puede ser una mano, un gancho o un pie (Brito y Quinde, 2013).

2.9 Materiales de prótesis

En la fabricación de prótesis para caninos se utilizan diversos materiales, como: el poliuretano termo endurecible. Para pigmentar, se utilizan colorantes en pasta o resinas líquidas; para las articulaciones de la cadera o la rodilla, a menudo se utilizan metales como el acero o el titanio y para el molde de la extremidad, se puede utilizar el mismo que se necesita en 3D (Pérez *et al.*, 2018). Por lo que, en relación a los materiales, se tienen los siguientes:

- Yeso: es un vendaje de apoyo sólido y se utiliza para envolver, ya que se adapta alrededor de la extremidad lesionada y se endurece dando apoyo con mayor precisión al hueso.
- Termoplástico: las láminas termoplásticas se utilizan ampliamente en el campo de la prótesis para fabricar conexiones protésicas y componentes estructurales. Estos materiales están disponibles en láminas de varios espesores y colores. Los tipos más básicos son polipropileno y polietileno (Murillo, 2018).
- El polipropileno (PP) es un plástico muy rígido para el que se han encontrado varios usos en prótesis. La estructura de soporte de la conexión protésica suele ser de polipropileno. El polietileno de baja densidad (PE) es un termoplástico suave y flexible que se puede utilizar para conexiones

protésicas. La ventaja más destacada de estos y otros tipos de termoplásticos es que se pueden remodelar (Hoyos, Ayala, Hernández, & Castillo, 2020) .

- Correas y velcros: se utilizan para dar agarre de las prótesis a la extremidad del canino.
- Tornillos, rodamientos y empaques: se utilizan para dar resistencia y rotación si se requiere a la prótesis (Murillo, 2018).
- Cuando se realiza una prótesis de una extremidad se debe realizar que tenga movilidad para facilitar aún más la movilidad de la extremidad, también se debe tener en cuenta la firmeza de la prótesis y el peso que puede levantar el canino.

2.10 Impresiones de prótesis

Durante la construcción de una prótesis, la impresión es un procedimiento que permite registrar con precisión las estructuras de la pieza ósea afectada, permitiendo que dicha prótesis proporcione una función de preservación del área impactada. Este procedimiento de impresión constituye un paso importante en la fabricación de la prótesis, pues facilita adaptarla a la función y estructura del área afectada y las adyacentes (Caballero, 2016).

2.11 Métodos de impresión 3D

En el caso de la elaboración de las prótesis para caninos mediante tecnología 3D, después de tener la impresión de la prótesis se procede a realizar el molde en yeso según molde de la impresión digital.

Las técnicas más utilizadas son la estereolitografía (SLA), sinterización selectiva por Láser (SLS), impresión tridimensional (impresión 3D), modelado por deposición Reparto (FDM). Todos estos se basan en el principio de adición de capas del material, que corresponden a los "cortes" axiales de la estructura anatómica examinada (Ortíz, Aveiga, Medina, y Soledispa, 2016).

2.11.1 Estereolitografía (SLA).

Para este procedimiento se usa un láser ultravioleta que es guiado por un *software* computarizado, que se encarga de solidificar un polímero líquido. Es el más utilizado para crear prototipos, a través de la produciendo un modelo robusto a través de varias etapas requeridas para generar el modelo una maqueta y ajustar la prótesis que se elabore (Gutierrez, 2013).

2.11.2 Modelado de deposición (FDM)

Utiliza material fundido las cuales van capa sobre capa para obtener un modelo sólido tridimensional (Villanueva, 2016).

2.11.3 Sinterización selectiva por láser (SLS).

Este procedimiento usa polvo termoplástico, para posteriormente implementar la tecnología láser para fundirlo y darle solidez al modelo (Schmid, Amado, y Wegener, 2015).

2.11.4 Impresora 3D.

Se usa mediante la incorporación de un material adhesivo líquido en un polvillo especial, para dar solidez al objeto 3D (Gong, Bickhman, Woolley, & Nordin, 2017).

Los métodos de impresión con la tecnología 3D son de gran ayuda para el campo de la medicina veterinaria ya que cubre un área que poco se ha considerado; pero que, sin duda en la actualidad progresivamente se están alcanzando grandes logros para mejorar la vida de pacientes caninos que por alguna razón han perdido una extremidad.

2.12 Prótesis en 3D

2.12.1 Historia de las impresiones de las 3D

Charles Hull en 1983 inventó la primera pieza con impresión en 3D, llamado el método de estereolitografía, la cual era un proceso de fabricación de un objeto plástico de fotopolímero, en el cual sucedía un cambio en las propiedades de esta sustancia gracias a una luz ultravioleta esto ha permitido que esta técnica venga evolucionada permitiendo así elaborar de objetos en 3 dimensiones (Serna, 2018).

El instituto tecnológico e Massachusetts desarrollo las primeras impresoras tridimensionales, en los principios del año 2000 crearon laboratorios denominado *FabLabs*, el cual contaba con impresoras en 3 dimensiones las cuales podían fabricar diferentes objetos, con distintos materiales (Germán, 2016).

En 1989 y 1990, Scott Crump, desarrolló la técnica de *Fused Deposition Modeling*, que consiste en crear objetos poniendo una capa de material fundido encima de otra que posteriormente se solidifica creando un objeto sólido y con la forma deseada. Este método es el más usado en la actualidad y él cual se ha difundido en las impresoras 3D existentes en el mercado. En los años noventa se mejora esta tecnología a nivel industrial y se crean nuevos proyectos, principalmente él de dos jóvenes estudiantes que desarrollaron un modelo de impresora 3D por inyección desarmando una vieja impresora tradicional. En el siguiente año estos fundaron *Z corporation*, hasta ser adquiridos por *3D Systems* en el 2012 (Germán, 2016).

2.13 Materiales utilizados para las impresiones en 3D

2.13.1 PLA (ácido poliláctico):

Se considera uno de los materiales más utilizados en impresiones 3D desde que se comprobó que tiene baja toxicidad, buen rendimiento mecánico, tiene buenas propiedades de barrera a los aromas, es biodegradable y confortable. Sin embargo, su industrialización a gran escala, ha limitado por sus altos costos y sus características intrínsecas (material duro y quebradizo). Pero, sustentado en los estudios se ha permitido agregar materiales como etilenglicol al PLA que le da flexibilidad y mejora sus características de industrialización (Brizuela, Cordero, y Silva, 2016).

2.13.2 ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno)

Es uno de los copolímeros más utilizados, debido a sus propiedades mecánicas, eléctricas, químicas y ópticas, y su bajo costo. Aunque presenta una gran desventaja que cuando es procesado libera vapores tóxicos para el ser humano y requiere de ciertas condiciones para ser utilizados en impresoras 3D normales (Adam, Valle, Robinson, da Rosa, & Schneider, 2017).

2.13.3 POLIAMIDA 6.6

Este material es muy resistente a altas temperaturas, muy baja viscosidad, buen acabado, lo único desfavorable es que es muy adherente y absorbe mucha humedad, por lo que deben ser secado en un horno y tampoco se adhieren a otros materiales con facilidad como en aluminio y vidrio (Mejía, 2016).

2.14 Prótesis osteointegradas

La osteointegración tiene sus orígenes en la odontología con el uso de implantes dentales, la cual fue descubierta en el año 1950 por un profesor sueco Branemark, la osteointegración es un proceso quirúrgico por la cual la célula ósea

se adhieren a una superficie metálica, en la cual se inserta un implante de metal, como anclaje permanente de extremidades artificiales, este anclaje es colocado mediante un proceso quirúrgico se inserta un implante metal en forma de rosca o con un recubrimiento poroso (Cano, 2014).

Ventajas:

- Provee una fijación estable de la prótesis al muñón.
- Evita los problemas de la piel.
- Mayor estabilidad.
- Mayor uso de la prótesis y la carga mejora la calidad ósea.
- No produce molestias o heridas por el roce entre el muñón y el uso de una cavidad.
- Permite caminar distancias largas.
- Mejor alineación del muñón óseo.
- Reducción del dolor fantasma.

Desventajas:

Desventajas, según Castillo y Arismendi (2012) enlista las siguientes:

- Complicaciones infecciosas.
- Proceso más largo de recuperación
- Costo económico.
- No puede ser utilizado en pacientes con amputaciones causada por diabetes mellitus o por problemas vasculares.

2.15 Bienestar animal

Es una ciencia basada en la zoología, etología, fisiología la cual intenta averiguar como el animal afronta las condiciones de su entorno, se dice que un animal está en buenas condiciones de bienestar cuando está sano, cómodo, bien alimentado, no presenta dolor, miedo o desasosiego y puede expresar su comportamiento propio de cada especie (Solano, 2018).

2.15.1 Las 5 libertades de bienestar animal

El concepto de bienestar animal incluye tres elementos: el buen funcionamiento del organismo (que entre otras cosas significa que los animales estén sanos y bien alimentados), el estado emocional del animal (incluyendo la ausencia de emociones negativas como el dolor y el miedo crónico) y la posibilidad de expresar algunos comportamientos normales propios de la especie (Montaño, 2019).

Es importante señalar que no todos los comportamientos son igualmente relevantes cuando se trata del bienestar animal. Desde un punto de vista práctico, la indicación más clara de que un comportamiento es importante en sí mismo es el hecho de que el animal muestra una respuesta al estrés o muestra comportamientos anormales cuando no puede expresar el comportamiento en cuestión. Estos tres principios no son necesariamente contradictorios, pero en muchas ocasiones son complementarios (Isaza, 2021).

Según FAO, (2012). Estas son las 5 libertades del bienestar animal

- El animal no sufre sed, de hambre ni malnutrición, porque tiene acceso a agua y se le suministra una dieta adecuada a sus necesidades.
- El animal no sufre estrés físico ni térmico, porque se le proporciona un ambiente adecuado, incluyendo refugio frente a las inclemencias climáticas y un área de descanso cómoda.
- El animal no sufre de dolores, lesiones ni enfermedades, gracias a una prevención adecuada y/o a un diagnóstico y tratamiento rápidos.

- El animal es capaz de mostrar la mayoría de sus patrones normales de conducta, porque se le proporciona el espacio necesario y las instalaciones adecuadas, y se aloja en compañía de otros individuos de su especie.
- El animal no experimenta miedo ni estrés, porque se garantizan las condiciones necesarias para evitar el sufrimiento mental
- el principio de estas cinco libertades constituye un enfoque práctico muy útil para el estudio del bienestar y especialmente para la evaluación de los animales.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Lugar de estudio

El diseño e impresión de la prótesis propuesta se realizará en los Laboratorios de AXIS impresión medica 3D del Dr. Johnny Uday, ubicada en la avenida 10 de agosto 372 km 70,14 Cuenca – Ecuador.

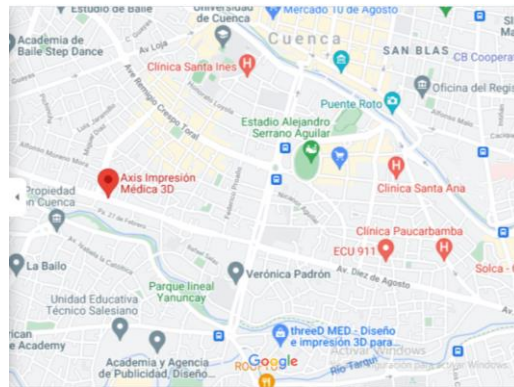


Ilustración 1: ubicación del lugar donde se construyó la prótesis.

El tratamiento ortopédico se realizó en la clínica veterinaria Perros y gatos ubicada en la avenida J. Andrade y Avenida del chofer perteneciente al doctor Pablo Rubio Cuenca – Ecuador.



Ilustración 2: Ubicación donde se realizó la investigación.

3.2 Datos informativos de la paciente

Paciente canino de 5 años de edad, de sexo hembra, con un peso de 5.50 Kg donde fue llevado a la clínica de la universidad católica de cuenca donde fue revisada, evaluada y seleccionada para el proyecto.

Una vez que se realizó la elección la paciente se sostuvo a exámenes de sangre para ver si estado de salud general, donde se encontró un poco de alteración que en hemograma y química sanguínea (Anexo C).

3.3 Evaluación de la paciente

La paciente en estudio fue sometió a un chequeo integral de su estado de salud, observando que se encontraba en óptimas condiciones. Así también se observó a la paciente su comportamiento durante 30 días. En torno a sus movimientos, biomecánica, sensaciones de dolor, estética. Con la finalidad de analizarla si era una candidata idónea para ser sometido al uso de la prótesis, si sus músculos cumplían con el requisito para que pueda utilizar una prótesis, las deficiencias que tenía en el momento de correr, jugar, caminar, saltar, subir escaleras, todas las actividades del canino normal.

3.4 Desarrollo de la prótesis

El prototipo de la prótesis se construyó mediante el proceso de modelado, diseño y construcción:

3.4.1 Modelado

Para realizar el modelo de la prótesis se tomó las medidas de varias formas para así obtener el mejor resultado para el diseño y posterior impresión.

Las medidas de la extremidad del paciente fueron tomada a través de un estudio tomográfico axial computarizado (TAC), para obtener el ángulo de la prótesis se le realizo con una cinta métrica y un medidor calibrado de ángulos. para

el tamaño del prototipo se midió la extremidad amputada con todas las extremidades. (Anexo A)

Con estos resultados se procedió a realizar diversos bocetos de los posibles prototipos de prótesis aplicables a la paciente en estudio (Anexo K)

3.4.2 Diseño e impresión de la prótesis

Una vez obtenidos todos los resultados de la evaluación individual del paciente, en la cual se incluyó la dinámica del desplazamiento tanto del paciente, así como del miembro contralateral al amputado, se procedió a realizar un TAC, con el cual se realizaron los cálculos y medidas para el diseño e impresión del prototipo (Anexo B).

Una vez dibujado el prototipo se descargó y se llevó a un generador de coordenadas X, Y, Z (*Repetier*), que permitió que la impresión del dibujo fuera impresa en la máquina 3D *Prusa Mk1*.

3.4.3 Construcción de la prótesis

El material utilizado para la impresión de la prótesis fue poliamida 6.6. Para su construcción se procedió de la siguiente manera: se realizó en primera instancia sacando una malla en tamaño real de la tomografía computarizada. Después se procedió a ingresar la malla en un programa para diseño 3D (*Blender*). A continuación, una vez que el modelo estuvo terminado se procedió a realizar la impresión 3D del modelo final.

3.5 Aplicación de la prótesis

Se colocó la prótesis al paciente y se le realizó una evaluación por 30 días donde se evaluaron parámetros como condición corporal, desplazamiento en busca de alimento, al lugar de descanso, estado de amputación, grado de postración del paciente, biomecánica, dolor, adaptación, flexibilidad, actividad, estética durante todo ese periodo a través de videos, fotografías y pruebas de recorrido como correr,

saltar, comer, jugar, subir y bajar escaleras, atravesar obstáculos, y la socialización con otros perros (Anexo D)

3.6 Variables a evaluar

Para este estudio se evaluó la biocompatibilidad de la poliamida dentro del cuerpo del paciente y los signos de bienestar animal en una etograma.

3.6.1 Evaluación de la biocompatibilidad de la poliamida 6.6 dentro del cuerpo del paciente.

La evaluación de la biocompatibilidad de la poliamida dentro de cuerpo del paciente se realizó mediante exámenes de sangre y estudios tomográficos.

3.6.2 Evaluación del bienestar animal

Se evaluó a la paciente en estudio por 30 días antes de la colocación de la prótesis su comportamiento y 30 días después de la colocación de la prótesis en el cual se evaluó los cambios tendientes a mejorar la calidad de vida del paciente.

3.7 Estudio de comportamiento (Etograma)

Se realizó un análisis descriptivo y estudio individual del caso donde se evaluaron las 5 libertades de bienestar animal, tales como:

Tabla 1: Estudio de comportamiento (Etograma)

Nº	Libertades	Variables a medir
1	El animal no sufre de hambre ni malnutrición	<ul style="list-style-type: none"> - Condición corporal - Desplazamiento en busca de alimento
2	El animal no sufre de estrés físico ni térmico	<ul style="list-style-type: none"> - Desplazamiento al lugar de descanso
3	El animal no sufre de dolor, lesiones ni enfermedades	<ul style="list-style-type: none"> - Estado de amputación - Grado de postración del paciente
4	El animal no es capaz de mostrar la mayoría de sus patrones normales adecuados	<ul style="list-style-type: none"> - Correr - Jugar - Saltar - Subir y bajar gradas
5	El animal no experimenta miedo ni estrés	<ul style="list-style-type: none"> - Socialización con otros perros

Fuente: Elaborado por la autora

3.8 Medición de las variables

Calidad de vida de la paciente con prótesis versus calidad de vida de la paciente sin prótesis.

La paciente fue estudiado durante 30 días sin prótesis y 30 días con prótesis, evaluando parámetros como la biomecánica, el dolor, la independencia, la estética, los cuales fueron evaluados de la siguiente manera:

Variable biomecánica: se evaluó el análisis biocinética de las fuerzas interactuantes entre el perro y el suelo, dependiendo del desempeño del paciente en el momento caminar con prótesis y sin prótesis.

- a) Mala: paciente con marcha interrumpida
- b) Medio: paciente con marcha poco interrumpida
- c) Bueno: paciente con marcha normal

Variable Dolor: esta variable se evaluó en función del número de manifestaciones de dolor que presentaba el animal, pudiendo describir como manifestaciones de dolor, aullidos, agresividad, lloriqueo, malestar, cojera al caminar, intolerancia a la prótesis, lesiones e inflamación en el muñón.

- a) Baja: no reacciona a la prótesis.
- b) Medio: presenta más de 3 manifestaciones de dolor.
- c) Alto: presenta más de 5 manifestaciones de dolor.

Variable de actividad: esta variable se evaluó según el porcentaje de limitaciones que tenía el paciente en el momento de realizar actividades como correr, jugar, saltar, subir escaleras, bajar escaleras, orinar, defecar, comer, subirse a un mueble, atraviesa obstáculos.

- a) Baja: necesita ayuda para realizar el 80% de las actividades declaradas.
- b) Medio: necesita ayuda para realizar el 50% de las actividades declaradas
- c) Alta: realiza todas las actividades sin ningún inconveniente, ni necesidad del dueño.

Variable estética: este parámetro se evaluó mediante la observación de aspecto de la paciente antes y después de la prótesis la conformidad de dueño ante la colocación de la prótesis

- a) Baja: necesita ayuda para realizar el 80% de las actividades declaradas.
- b) Medio: necesita ayuda para realizar el 50% de las actividades declaradas
- c) Alta: realiza todas las actividades sin ningún inconveniente, ni necesidad del dueño.

La baja calidad de vida se evaluará como aquel paciente en el que 3 o más parámetros medibles presenten el resultado mínimo, se evaluará la calidad de la vida media de 3 o más los parámetros medibles presenten un resultado medio, se evaluará como alta calidad de vida cuando 3 o más parámetros tengan un resultado alto.

3.9 Equipos y materiales

3.9.1 Materiales Físicos

- Computadora
- Impresora en 3D
- Plumero
- Tomógrafo
- Poliamida 6.6
- Polipropileno
- Cuaderno
- Bocetos

3.9.2 Materiales Químicos

- Ketamina
- Propofol
- Maleato de Acepromacina
- Lidocaína 2%
- Midazolam
- Fentanilo
- Xilacina
- Dexmedetomidina, clorhidrato

3.9.3 Material Biológicos

- Paciente canino

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

4.1 Desarrollo del prototipo de prótesis

Se desarrolló un prototipo de prótesis aplicado a un paciente canino hembra de 5 años de edad con una pérdida parcial del miembro anterior izquierdo a nivel de radio-cúbito, las características del prototipo transhumeral son las siguientes.

Tabla 2: Características de la prótesis

Características	
Medida	Tiene las medidas de 10,9 cm de largo, por 1,3 cm de ancho
Materiales	La prótesis anclada al hueso fue elaborada en Nylon
Número de piezas	Una pieza
Dimensiones	13 cm de largo por 3,7 de ancho
Programas utilizados	Diseño 3D (Blender)
Tipo de impresora	Prusa Mk1

Fuente: Elaborado por la autora

4.2 Análisis de los resultados de la biocompatibilidad mediante las tomografías

Se observó un alto nivel de biocompatibilidad a partir del mes de implantación, específicamente en la zona de interface de la piel hacia el exterior, el color de la piel adyacente al implante tenía una textura normal y sin secreciones que denotaran infección y en la tomografía axial computarizada (TAC) de rutina que se le realizó a la paciente 2 meses después de la intervención se pudo observar la biocompatibilidad de la poliamida en el húmero de la paciente. (Anexo H y I)

En la actualidad, ya han pasado más de 5 meses, y la paciente continua con la porción proximal de la prótesis implantada en el humero, sin haberse presentado algún tipo de complicaciones, secreciones, o infecciones leves o moderadas, lo que sugiere un alto nivel de biocompatibilidad del material utilizado.

4.3 Análisis de los resultados de los exámenes realizados a la paciente antes y después de la anexión de la prótesis.

Tabla 3: Resultados hemograma

	Antes	Después
Eritrocitos	9.38 M/UI	8.20 M/UL
HCT	6285.7%	42.8%
HGB	21.3 g/Dl	17.4 g/dL
MCV	66.8 Fl	66.8 fL
MCH	22.7 pg	22.7pg
MCHC	33.9 g/Dl	33.9 g/dL
RDW	14.9%	14.9%
%RETIC	0.9%	0.9%
RETIC	85.3 K/UI	85.3 K/uL
LEUCOCITOS	11.46 K/UI	11.46K/uL
%NEU	84.0%	84.0%
%LYM	9.7%	9.7%
%MONO	5.1%	5.1%
%EOS	1.0%	1.0%
%BASO	0.2%	0.2%
NEU	9.64 K/UI	9.64 K/uL
LYM	1.11 K/UI	1.11 K/uL
MONO	0.59 K/uL	0.59 K/uL
EOS	0.11 K/UI	0.11 K/uL
BASO	0.02 K/UI	0.02 k/uL
PLQ	954 K/UI	425 k/uL
MPV	6.1 fL	6.1 Fl

PDW	18.4%	18.4%
PCT	0.59%	0.59%

Fuente: Elaborado por la autora

De acuerdo a los resultados del hemograma realizado a la paciente antes y después de la anexión de la prótesis, se obtuvo una marcada diferencia en los valores de eritrocitos (a. 9.38 M/UI – d. 8.20); HGB (a. 21.3 g/dL - d. 17.4 g/dL); M/ULHCT (a. 6285.7% - d. 42.8%), plaquetas (954 K/uL - 425 k/uL).

Tabla 4: Resultados química sanguínea

	Antes	Después
GLU	161 mg/dL	122 mg/dL
CREA	0.8 mg/dL	0.8 mg/dL
BUM	17 mg/dL	17 mg/dL
BUN/CREA	21	21
TP	6.4 g/dL	6.4 g/dL
ALB	2.7/dL	2.7 g/dL
GLOB	3.7 g/dL	3.7 g/dL
ALB/GLOB	0.7	0.7
ALT	59 U/L	59 U/L
ALKP	89 U/L	89 U/L

Fuente: Elaborado por la autora

Los resultados que se evidenció según la química sanguínea es que antes de la operación las cifras de la glucosa son encontraba en parámetros altos, (anexo C) mientras que los exámenes químicos valorativos realizados posterior a la operación, se encontraron en su totalidad normales (Anexo C).

4.4 Resultados de la medición de las variables asociadas al bienestar del canino intervenido:

Los resultados expuestos a continuación se basan en la etograma realizado al paciente de su comportamiento durante 4 semanas donde se respalda los avances y retrasos por 30 días que duraron la evaluación de la paciente (Anexo L)

4.4.1 Libre de hambre, sed y desnutrición

Tabla 5: Primera libertad del animal

Semanas	Observación
Primera	La paciente recuperó progresivamente el apetito, el cual se normalizó a las 60 horas después de la operación, tiempo en el cual comió alimentos blandos con normalidad y con buen apetito.
Segunda	Comenzó a ingerir comida casera con normalidad y al final de esta semana la paciente se observó en muy buen estado físico, con apetito busca su alimento de manera independiente, comienza a aumentar de peso (5,8Kg), se encuentra bien hidratado, por el frecuente consumo de agua.
Tercera	La tercera semana del postoperatorio se observa una significativa mejora en todas sus condiciones físicas y aumento de la masa corporal (6Kg).
Cuarta	La paciente se encuentra recuperada definitivamente

Fuente: Elaborado por la autora



Ilustración 3: Primera libertad libre de hambre, sed y desnutrición.

4.4.2 Libre de molestias físicas y térmicas segunda

Tabla 6: Segunda libertad del animal

Semanas	Observación
Primera	<p>Un día después de la cirugía la canina aún no se adapta a la prótesis y continúa desplazándose con sus 3 patas.</p> <p>Se observa con dolor al momento que requiere movilizarse.</p> <p>Muestra dolor al momento de la limpieza lo que se prolonga hasta el final de esta semana.</p>
Segunda	<p>Se le extrae el vendaje de Ehmer y el collar Isabelino, empieza a bajar un poco el brazo se le hace una prueba con la otra parte de la prótesis y se observa que la asienta, al colocársele nuevamente el vendaje.</p> <p>Cuarto día de esta semana, ya no se le coloca la venda y se le hace un vendaje solo de la herida, la paciente se encuentra muy activa.</p> <p>Quinto día, se le coloca la segunda parte de la prótesis, el animal en el momento de descanso la asienta.</p> <p>Sexto día se muestra muy hiperactiva y solo asienta la prótesis al momento del descanso y se acuesta por el lado de la cirugía.</p> <p>Séptimo día, ya se ha adaptado muy bien.</p>
Tercera	<p>Mostró mayor adaptación a la prótesis baja, pero muestra miedo a hacerlo.</p> <p>Se observa bastante adaptada a la prótesis se acuesta para el lado de la cirugía, ya no le duele e intenta asentar la prótesis.</p> <p>Día de esta tres ya está adaptada completamente a la prótesis. Para el quinto día ya está totalmente adaptada a la prótesis no es necesario el collar Isabelino.</p> <p>Al sexto día, se observa mayor movilidad de la extremidad que fue reemplazada y al final de esta semana ya está más adaptada a la prótesis y comienza con mayores movimientos.</p>

Cuarta	El día tercero de esta semana, la paciente tuvo un accidente (al momento de bajar de la cama salto y afianzo primero la prótesis), afectándose en la lesión, por lo que presentó un pequeño retroceso en su evolución, que se manifestó con miedo a asentar la prótesis, la que retomó ya para el final de la semana, en la cual se observó mejor adaptada a la prótesis asentándola con mayor normalidad. A partir de este momento su recuperación fue evidente y estuvo libre de molestias físicas.
---------------	---

Fuente: Elaborado por la autora



Ilustración 4: Segunda libertad: libre de molestias físicas y térmicas.

4.4.3 Libre de dolor, lesión y enfermedad tercera

Tabla 7: Tercera libertad del animal

Semanas	Observación
Primera	La paciente al segundo día de la cirugía, evidencia dolor al momento de la asepsia postoperatoria y continua así por toda la semana, en la que se percibe que presenta dolor al momento de ser manipulada para la limpieza diaria.
Segunda	Esta situación se prolonga para la segunda semana aun cuando se aprecia disminución del dolor al realizarle la limpieza y para el tercer día de esta semana hay menos dolor y mejora su actitud ante el manejo de la limpieza, lo que favorece la colocación de la prótesis externa. Al cuarto día de esta semana hay menos dolor y se deja manipular para la limpieza con mayor facilidad, lo que se prolonga hasta finalizar esta semana.
Tercera	No muestra tanto dolor se deja manipular con más facilidad la prótesis y la herida se encuentra totalmente limpia. Para el tercer día de esta semana, ya no hay dolor y la manipulación se hace con mayor facilidad lo que va progresando en el transcurso de la semana y para el cuarto día la herida se encuentra en perfectas condiciones y el dolor va aliviando hasta el final de esta semana.
Cuarta	Aparece nuevamente el dolor, no se deja manipular y este día no se deja hacer la limpieza. Para el cuarto día ya disminuyó el dolor y se puede realizar la limpieza de la herida lo que va mejorando en el transcurso de la semana y para el sexto día y al final del séptimo día la herida ha sanado, se encuentra en buen estado con mejor ánimo juega, salta y baja de la cama baja las gradas con total normalidad.

Fuente: Elaborado por la autora



Ilustración 5: Tercera libertad libre de dolor, lesión y enfermedad

4.4.4 Libre de temor y de angustia

Tabla 8: Cuarta libertad animal

Semanas	Observación
Primera	No muestra signos de agresividad, por lo que se considera que tiene un buen comportamiento, es cariñosa y se adapta al patio de la casa con los otros perros.
Segunda	En la segunda semana mantiene esta buena actitud, no se muestra agresiva, comparte con los gatos y los perros, solo se mantiene aislada por su propia seguridad y progresiva recuperación.
Tercera	Continúa adaptándose a su entorno, juega con los otros perros y con los gatos y con los integrantes de la familia, no es tímida ni agresiva con los niños.
Cuarta	Se encuentra muy bien adaptada a su entorno.

Fuente: Elaborado por la autora

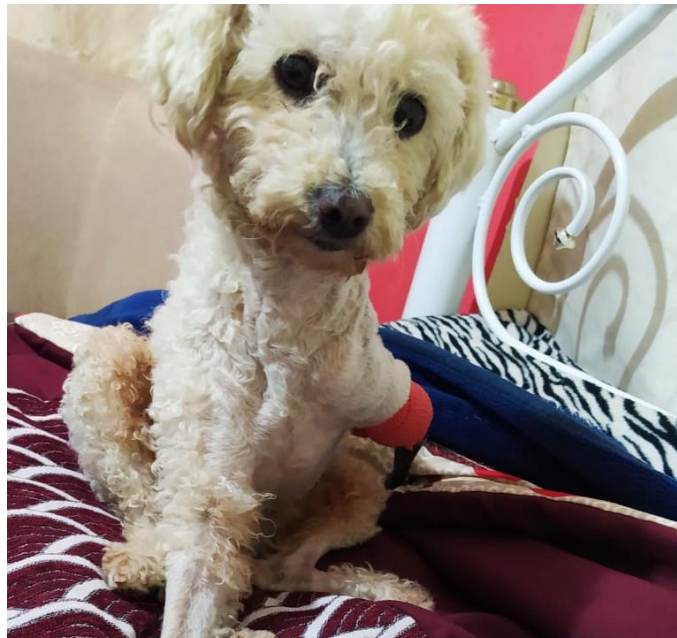


Ilustración 6: Cuarta libertad libre de temor y angustia.

4.4.5 Libre de manifestar un comportamiento natural

Tabla 9: Quinta libertad animal

Semanas	Observación
Primera	<p>Después de la cirugía la paciente se observa un poco decaída.</p> <p>Al tercer día se observa con buen estado de ánimo.</p> <p>Se le retira el suero, dejándole una vía para la medicación.</p> <p>Para el quinto día se encuentra con buen estado de ánimo camina y corre con las tres patitas, muestra buen ánimo, sale a caminar, sube y baja las gradas.</p>
Segunda	<p>El medicamento yo se le administra en forma oral.</p> <p>Se desplaza con normalidad, con la prótesis externa.</p> <p>El séptimo día de esta semana, el animal se observa con un excelente estado de ánimo pasa correteando.</p> <p>Se le está haciendo la limpieza cada día y colocando el portosan en la herida que se encuentra vendada solo la parte de la incisión, en el momento de la limpieza no se observa infección, ni liquido purulento, se aprecia que no existe rechazo a la prótesis.</p>
Tercera	<p>Presenta buen estado de ánimo juega, su condición corporal y pelaje han mejorado.</p> <p>En el segundo día come con normalidad le gusta más la comida casera que las croquetas.</p> <p>Para el tercer día presenta excelente estado de ánimo juega sube y baja de la cama y las gradas, lo que se prolonga hasta el final de la semana en la que se ve excelente.</p> <p>La paciente aun esta con medicamentos vía oral se le realiza la limpieza todos los días no hay secreciones ni mal olor no se ve signos de rechazo a la prótesis.</p>
Cuarta	<p>La paciente se encuentra con buen estado de ánimo juega baja y sube de la cama y las gradas, muy imperativa juega.</p>

Para el cuarto día no tiene mucho ánimo, paso en la cama no juega y tienen miedo de bajar de la cama y tiene miedo al momento de saltar.

El quinto día ya tiene más confianza, salta de la cama, pero no logró subir; al sexto día está de buen estado de ánimo, ya baja y sube de la cama y baja las gradas y al final de esta semana su ánimo mejora juega, salta y baja de la cama con normalidad.

Al final de esta semana, la paciente ya no está con medicamentos. El día miércoles tuvo un accidente al momento de bajar de la cama salto y acento primero la prótesis lo que le causo mucho dolor y hubo un retroceso en la adaptabilidad de la prótesis, ya que mostraba temor y miedo de asentarla, lo que progresivamente fue cambiando a medida que el dolor disminuía y sentía más seguridad para la movilidad.

Desde la semana siguiente se le realizaron las limpiezas cada 3 días y se dejó de utilizar el protosan en el momento de la limpieza no hay liquido purulento ni mal olor no hay un rechazo de la prótesis.

Fuente: Elaborado por la autora



Ilustración 7: Quinta libertad: libre de manifestar un comportamiento natura

CAPÍTULO 5

5. DISCUSIÓN

El prototipo de la prótesis endomedular diseñada e impresa fue aplicada a la paciente en quien se evaluó con amputación transhumeral unilateral observándose que progresivamente fue adaptándose, se mejoró notablemente su movilidad al caminar, correr, saltar, bajar y subir gradas. Se logró una mejora integral de la paciente, al alcanzar las 5 libertades del animal relacionadas con la libertad de hambre, sed, desnutrición, de molestias, físicas y térmicas, libre de dolor, lesión y enfermedad, libre de temor y angustia y de manifestar un comportamiento natural.

Estos resultados permiten clasificar y establecer la prótesis diseñada como un recurso altamente eficiente en la mejora notable de la calidad de vida de la paciente.

La prótesis osteointegrada con diseño 3D (*Blender*) generó un alto nivel de biocompatibilidad a partir del mes de implantación, específicamente en la zona de interface de la piel hacia el exterior, el color de la piel adyacente al implante tenía una textura normal y sin secreciones que denotaran infección. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Noblecilla (2017) quien dirigió su investigación al diseño de una prótesis con la que logró elevar la calidad de vida del canino al que le fue aplicada, reduciéndole el dolor del muñón causado por asentar la extremidad amputada sobre una superficie sólida como es el suelo, ya que la prótesis la amortigua al caminar y previene el dolor y las lesiones en esta parte afectada del paciente.

No obstante, los resultados de este estudio se diferencian de los obtenidos por Larrea (2017), quien realizó una prótesis en 3D que fue aplicada a la paciente que involucro en su estudio, pero que con el paso del tiempo presentó dificultades para seguir evaluando el prototipo realizado, debido a los problemas de agresividad que la paciente mostró generado por la reducida comodidad de la prótesis construida que producía evidentes molestias.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos de la presente investigación, se concluye que:

Se diseñó una prótesis osteointegrada en 3D para pacientes con amputación transhumeral, fundamentada en las necesidades del paciente canino hembra de 5 años de edad con una pérdida parcial del miembro anterior izquierdo a nivel de radio-cúbito, con el propósito de ofrecerle una mejor calidad de vida.

Se aplicó el prototipo de la prótesis osteointegrada impresa en la paciente a quien se observó su evolución durante 30 días, percibiéndose una evidente mejora, según la medición de las libertades asociadas al bienestar del canino intervenido.

Se consideró un alto nivel de biocompatibilidad del material utilizado, puesto que la paciente ha continuado posterior a los 30 días de la observación postoperatoria, con la porción proximal de la prótesis implantada en el húmero, sin haberse presentado algún tipo de complicaciones, secreciones, o infecciones leves o moderadas.

Se logró una alta efectividad de la adaptación de la paciente canina a la prótesis, lo cual se evidenció al observarse y analizar el comportamiento posterior a la intervención quirúrgica en la que fue implantada la prótesis en el húmero y según el bienestar mostrado durante el periodo observado.

CAPÍTULO 7

7. RECOMENDACIONES

Utilizar la tecnología 3D (*Blender*) como una herramienta útil y aplicable en el diseño, desarrollo y construcción de prótesis en el ámbito veterinario, buscando la mejora de la calidad de vida de los pacientes que la requieran.

La prótesis utilizada se recomienda para ser utilizada en pacientes con amputaciones de extremidades, pues su aplicación mostro alto nivel de biocompatibilidad y adaptabilidad en la mejora de la calidad de vida de la paciente que integró la muestra en estudio, constituyéndose en una opción a considerar para investigaciones futuras en las que se requiera la construcción de prótesis para animales.

Continuar las investigaciones relacionadas a la tecnología 3D en animales, en virtud a que presenta diversas opciones a realizar, que la hacen aplicable en el contexto veterinario, contribuyendo de esta manera a la solución de los problemas y dificultades que se presentan dentro de esta área, cuando se busca proporcionar calidad de vida a los animales, considerando que estos merecen segundas oportunidades y que a través estas herramientas se puede aportar de manera significativa a diferentes mejoras en las formas de vida.

X. BIBIOGRAFÍA

Acero, L. (2018). Equal: Prótesis semi-personalizada para perros en impresión 3D. Colombia : Universidad El Bosque .

Adam, A., Valle, J., Robinson, L., da Rosa, L., & Schneider, E. (2017). Recycling and Mechanical Characterization of Polymer Blends Present in Printers. *Mat. Res.*, 20(2), 202-208. Obtenido de <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2016-1099>

Arszola, J. L. N. (2011). Evolución y tendencia en el desarrollo de prótesis de mano. *Bollettino Della Società Italiana Di Biologia Sperimentale*, 30(3), 206–208.

Bernal, R., & Galarza, C. (2014). Proyecto eco can en la ciudad de cuenca. *AKADEM*, N.º1. pp 24.

Brizuela, C., Cordero, J., & Silva, C. (2016). Biocompatibilidad de Células Madres Mesenquimales de Tejido Gingival Humano en Cultivo con un Andamiaje de Polímero Sintético de Ácido Poliláctico (OPLA). *Int J Morphol*, 32(3), 767-72. doi:https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0717-95022014000300004&lng=pt&nrm=iso

Brito, J. L., & Quinde, M. X. (2013). “Estudio del estado del arte de las prótesis de mano”. *Review*. N.º 9, 57-64.

Cadena García, G. J. (2013). Estudio para la estimación de la población de perros callejeros en Mercados Municipales del Distrito Metropolitano de Quito. DMQ. (Tesis de pregrado) Universidad San Francisco de Quito, Quito

Cano, Lluís Guirao. (2014). Valoración de un implante endomdular en la funcionalidad de los pacientes amputados femorales.(Tesis de doctorado) Universidad autonoma de Barcelona, Barcelona.

Caraza, J.; Quinjano, I.; & Barbosa, M. (2015). Seminario de residentes de la especialidad en medicina y cirugía en perros y gatos. Toluca-México: Facultad de medicina veterinaria y zootecnia,

Casagrande Campoverde, E. J. (2014). Caracterización de los tipos de fracturas por imagen radiológico en perros traumatizados, atendidos en los centros veterinarios

de la ciudad de Guayaquil.(Tesis de pregrado) Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil

Castellanos, M., & Beltrán, J. (2019). Diseño y construcción de un prototipo funcional de una prótesis transradial de bajo costo para una extremidad delantera de un perro mediano en la ciudad de Bucaramanga (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

Castillo, J., & Pilar A. (2012). "Técnica y protocolo de osteointegración : aplicación en pacientes amputados." *Rehabilitacion Interlat* 7(1):40–45.

Collin, I., Daniels-Moulin, M., Desachy, F., & Dupuis, C. (2019). *Enciclopedia mundial de perros (Vol. Primera parte)*. Parkstone International.

Dauvergne, C., & Desachy, F. (2018). *Enciclopedia familiar del perro*. Parkstone International.

Eugenio, D., Sánchez, R., & Zamora, (2016). Aplicación de la impresión 3D en la ciencias de la salud. *universidad Autónoma metropolitana*, 4(2), 136-139.

Farro, L., & Tapia, R. (2013). Guía de rehabilitación. Persona con amputación. *Revista Med Hered*, 23(4), 15–35

Galarza, L. (2016) Prevalencia de diabetes mellitus en perros mayores de 7 años con sobrepeso "(ICC>4)". Tesis previo a la obtención de título de magíster en medicina canina y felina. Cuenca

García, R., César, A., & Cristian, C. (2017). Reparación de Fractura Cubito-Radial en Canino. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias-FAGROPEC*, 24-29.

Germán, T. (2016). Protección del derecho de autor dominicano ante los efectos de las impresiones 3D.(Tesis de Maestría) Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra. Santo Domingo, Distrito Nacional

Gong, H., Bickhman, B., Woolley, A., & Nordin, G. (2017). Custom 3D printer and resin for 18 μm \times 20 μm microfluidic flow channels. *Lab Chip*, 17(28), 2899-2909. Obtenido de <https://doi.org/10.1039/D1LC00629K>

González, M. Z. (2018). Caracterización de fracturas femorales de caninos atendidos en un servicio asistencial veterinario de La Habana, Cuba. *Revista de Salud Animal*, 40(11), 1-10.

Gutierrez, F., & Robles, R. (2013). Estereolitografía en Cirugía Maxilofacial. *Revista Estomatológica Herediana*, 23(4), 216-222. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4215/421539379008.pdf>

Hoyos, V., Ayala, M., Hernández, J., & Castillo, M. C. (2020). Prótesis para caninos con amputaciones totales. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería - Departamento de Ingeniería Biomédica. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/51429/23090.pdf?sequence=1>

INT. (2016). *Anatomía y Fisiología Animal*. Instituto Nacional Tecnológico - Dirección General de Formación Profesional MAG/INTA/IPSA.

saza, C. (2021). Conductas compulsivas como indicadores de falta de bienestar animal en perros y gatos. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, 74(1), S52-55. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Laya-Kannan-Alves/publication/348453055_Viabilidad_economica_en_la_produccion_de_lechones_en_sistemas_con_alojamiento_individual_o_colectivo_de_cerdas/links/600041a345851553a041a2c4/Viabilidad-economica-en-la-produccion

Larrea Zapatier, M. A. (2017). Diseño de una guía para la evaluación de un prototipo de Prótesis en 3D para caninos (*Canis lupus familiaris*). (Tesis de pregrado), Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil

López, B. y J. P. (1946). Amputaciones. *Archivos medicos Mexicanos* 4(12), 638–655.

López Contreras, G. (2016). Análisis numérico y experimental de un prototipo de prótesis canina para extremidad posterior. (Tesis de pregrado). Escuela superior ingeniería mecánica y eléctrica. México

Manteca.X, Mainau. E. & Temple. D. 2012. “¿ Qué Es El Bienestar Animal ?”
FAWEC N:1:1–3.

Marquina, A. (2019). Descripción radiológica de fracturas en miembros pelvianos de caninos, en el centro especializado de diagnóstico por imágenes veterinario Ecodvet. Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma. Facultad de Ciencias Biológicas. Escuela Profesional de Medicina Veterinaria. Retrieved from https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2754/T030_72927100_T%20%20MARQUINA%20ORTIZ%20ALEXANDER%20JONATHAN.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mejía, H. (2016). Ventajas y desventajas de las impresiones 3D. Revista Tecnológica , 12(18), 30-36.
doi:http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rtft/v12n18/v12n18_a06.pdf

Montaño, S. (2019). Proceso reflexivo a la inclusión de justicia y bienestar animal en las decisiones tomadas en salud pública para caninos con leishmaniasis en Villavicencio-Meta. Bogotá – Colombia: Universidad El Bosque. Maestría en Bioética. Obtenido de https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/1997/Monta%C3%B1o_Contreras_Sandra_Carolina_2019.pdf?sequence=1

Murillo, G., Lobo, J., Sandí, W., & Pires, T. (2018). Aplicaciones de las Impresoras 3D en el desarrollo de prótesis para cirugía de reemplazo protésico (artroplastias): uso en caninos. Tecnología en Marcha, 31(3), 131-142., 131-142. Obtenido de 10.18845/tm.v31i3.3908

Noblecilla, S. (2017). Diseño y desarrollo de un prototipo de prótesis en impresión 3D aplicado en medicina veterinaria para pequeñas especies. Machala, Ecuador : Universidad Técnica de Machala - Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias - Carreras de Medicina Veterinaria y Zootecnia .

Romero Salazar, P. D. (2016). Una patita, una vida: diseño de prótesis para extremidades caninas e identidad visual para su comercialización.(Tesis de pregrado) Universidad de las Americas, Quito

Serna, E. (2018). Desarrollo e Innovacion e Ingeniería,Medellin-Antioquia: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.

Solano León, M. K. (2018). Prevalencia de alteraciones comportamentales en perros de un refugio de la ciudad de Cuenca como indicador de bienestar animal.(Tesis de maestria) Universidad de cuenca, Cuenca

Schmid, M., Amado, A., & Wegener, K. (2015). Polymer powders for selective laser sintering (SLS). Conference Proceedings, 16(64), 1-10. Obtenido de <https://doi.org/10.1063/1.4918516>

Ortíz, K., Aveiga, H., Medina, J., & Soledispa, R. (2016). Los beneficios de las impresiones 3D como herramienta de innovación en la medida. Revista Caribeña de Ciencias Sociales, 1(1), 1-15. doi:<http://www.eumed.net/rev/caribe/2016/06/3d.zip>

Pardo Jiménez, M. Á., Puglisi, L., Moreno, H., Quinayás-Burgos, C. A., Muñoz-Añasco, M., Vivas-Albán, Ó. A., Gaviria-López, C. A., Manuel, J., González, D., Murillo, P. R., Flores Luna, I., Mendoza, A. J., & Ballesteros Cadena, A. E. (2004). Robótica Y Prótesis Inteligentes. Revista Digital Universitaria, 6 (1), 223–237.

Paredes, J. A. R. (2018). Diseño de ortopedia de rehabilitación y adaptacion para caninos.(Tesis de pregrado) Universidal del Azuay.Cuenca

Peña, S. (2019). ABC en un paciente politraumatizado. Alto Valle y Valle Medio, Choele Choele: Universidad Nacional Rio Negro. Obtenido de <https://rid.unrn.edu.ar/bitstream/20.500.12049/4008/1/trabajo%20final%20Pe%C3%B1a.pdf>

Pérez, M., Pérez, M., Pérez, A., Pérez, Z., & Pérez, A. (2018). Aplicaciones de biomateriales en la Estomatología. CITMA:, 4(3), 667-680. doi:<http://scielo.sld.cu/pdf/ccm/v22n4/ccm12418.pdf>

Vázquez, E. (2016). Los amputados y su rehabilitación. México-México: Editorial Intersistemas.

Valdez Shamir Mauricio, N. (2017). Diseño y desarrollo de un prototipo de prótesis en impresión 3d aplicado en medicina veterinaria para pequeñas especies,(Tesis de pregrado) Universidad Tecnica de Machala, Machala

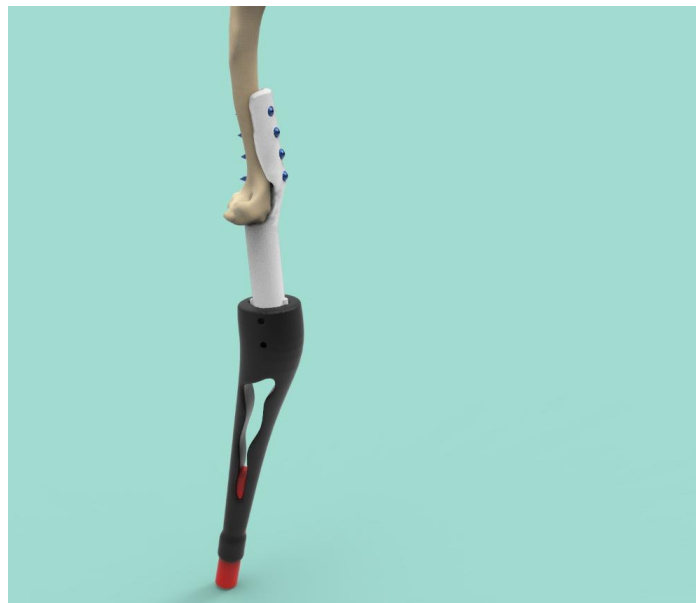
Villanueva, A. (2016). Desarrollo de amazones (scaffolds) a partir de poli (ácido láctico) (PLA) y polietilenglicol (PEG) utilizando la técnica de modelado por deposición fundida (FDM) empleada en impresión 3D. Escuela de Postgrado , Maestría en Ingeniería y Ciencia de los Materiales . Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <https://1library.co/document/qodg045z-desarrollo-armazones-scaffolds-lactico-polietilenglicol-utilizando-deposicion-impresion.html>

XI. ANEXOS

ANEXO A: Examen tomográfico

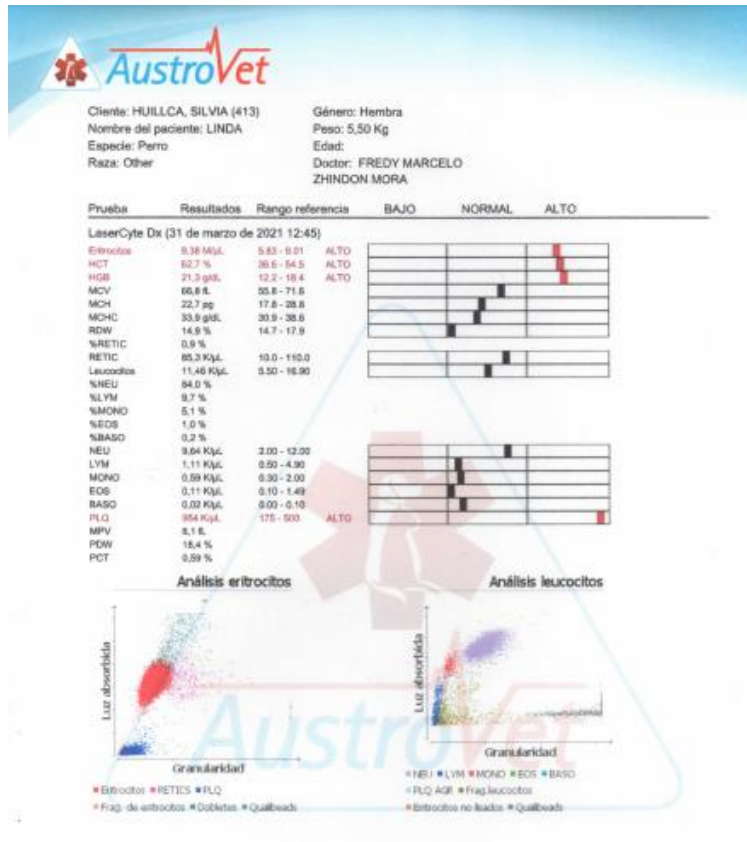


ANEXO B: Diseño de la prótesis



ANEXO C: Exámenes preoperatorios

Hemograma



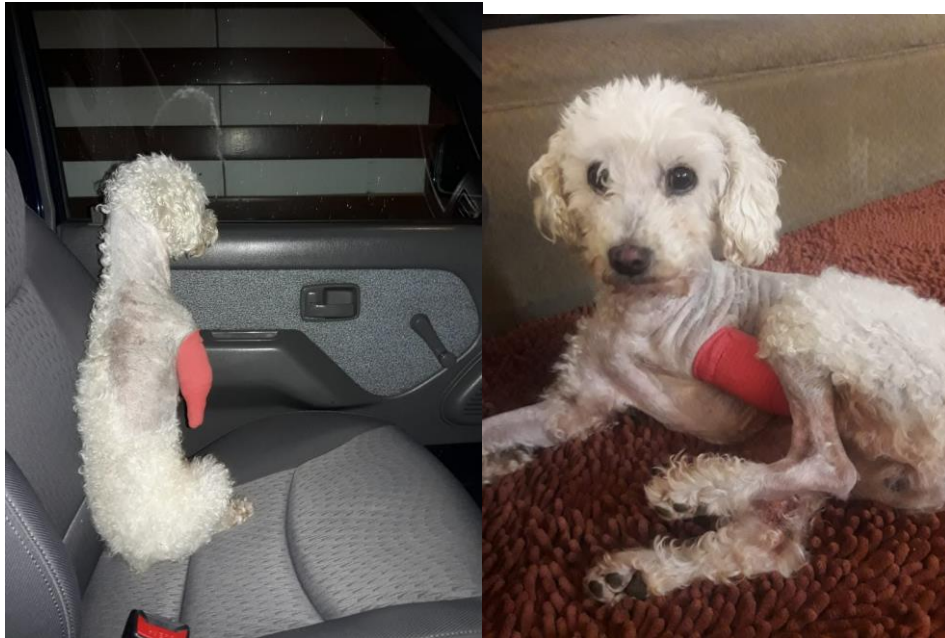
Química sanguínea



ANEXO D: Preparación, Cirugía ortopédica e implante de la prótesis



ANEXO E: Recuperación del paciente



ANEXO F: Medición de la prótesis



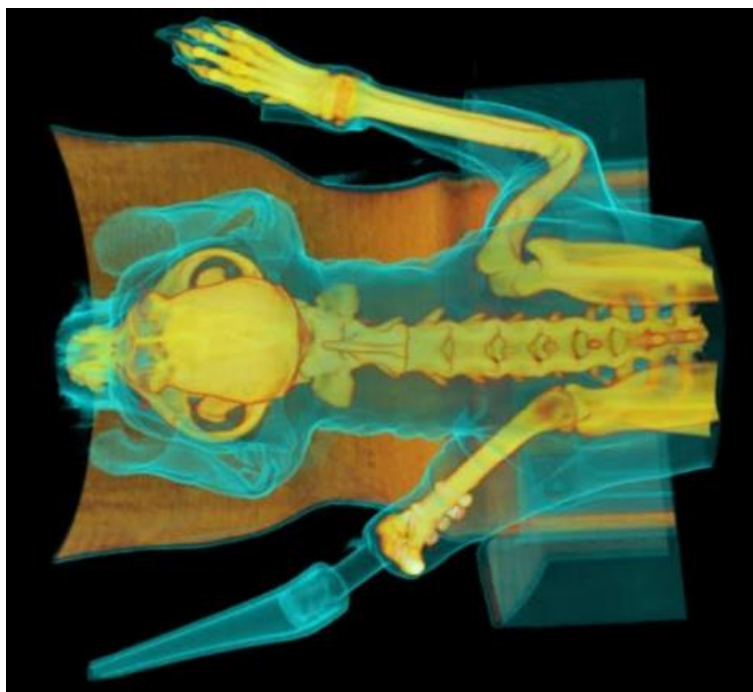
ANEXO G: Evaluación de la paciente



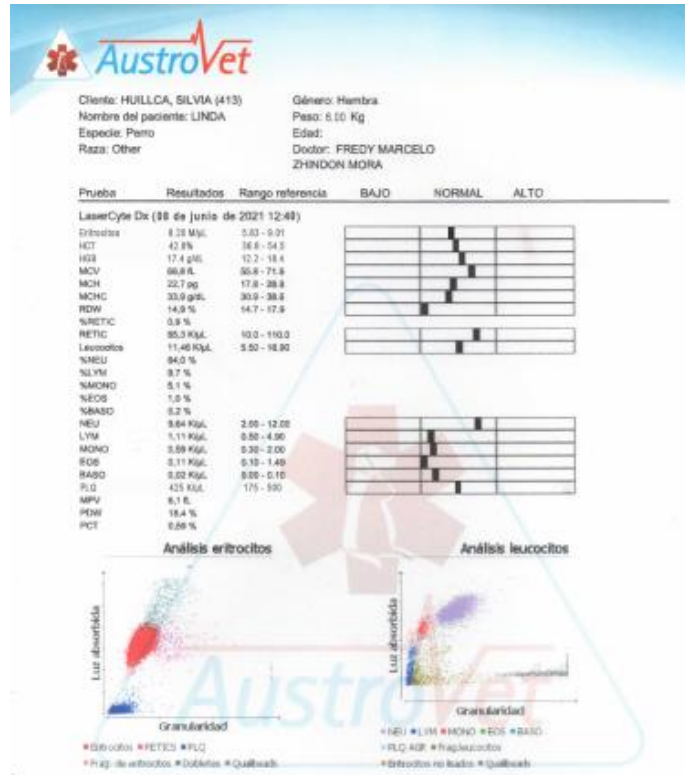
ANEXO H: Segundos estudios tomográficos



ANEXO I: Biocompatibilidad de la poliamida 6.6



ANEXO J: Exámenes para evaluar la biocompatibilidad



Química sanguínea



ANEXO K: Bocetos



Semana 1

ANEXO L: Evaluación de la paciente

	Semana 1						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	domingo
Peso 5,5 kg	05-04-2021/ 11-04-2021						
1 libertad Condición corporal y cuando recupera el apetito	Día de la cirugía el paciente está en ayunas y en la tarde no tiene apetito	El animal recupera el apetito se le da comida blanda y come	Come con normalidad buen apetito	Come con normalidad comida blandas sopa de pollo	Come con normalidad se le empieza a dar croquetas	Come con normalidad no mucho las croquetas	Come con normalidad comidas blandas ca
2 libertad comportamiento del animal	Día de la cirugía d	Se le saca de su jaula con normalidad	Su comportamiento en bueno no tiene problemas de agresividad	Muy cariñosa no es agresiva al momento de sacarle de la jaula	Muy cariñosa se adapta en el patio con los otros perros	Cariñosa no pelea con los otros perros al momento q se le saca para q haga sus necesidades	Cariñosa no agresiva
3 libertad la adaptabilidad de la prótesis y el desplazamiento	Día de la cirugía	Un día después de la cirugía el animal aún no se adapta a la prótesis y su desplazamiento lo hace con su 3 patas	Aun no se adapta esta puesta un collar isabelino por q le molesta el vendaje	Aún permanece con vendaje y con collar isabelino	Permanece con el vendaje y con collar	Permanece con vendaje y con collar	Permanece con vendaje y con collar
4 libertad Dolor Estado de la herida	Día de la cirugía	El animal siente dolor al momento de la limpieza	El animal aun esta con dolor el momento de la manipulación	Dolor solo al momento de la manipulación para realizar las limpiezas	Dolor al momento de la limpieza	Dolor al momento de la limpieza	Dolor al momento de la limpieza
5 libertad Estado emocional Cuando recupera el buen ánimo.	Día de la cirugía.	Al día siguiente de la cirugía está un poco decaída.	Buen estado de ánimo del animal se le saca ya el suero, pero queda con vía para la medicación.	Buen estado de ánimo el animal mueve la cola al momento que se le llaga a visitar.	Buen estado de ánimo camina corre con sus 3 patitas.	Buen estado de ánimo sale a caminar sube y baja las gradas de la clinica.	Buen estado de animo

El paciente paso internado en la clinica perros y gatos toda la semana con medicación via venosa y limpiezas todos los días se colocó protosan todo el día después de las limpiezas la herida todo el día no se observa ningún líquido purulento ni se observa infección alguna. Activi
Ve a Cc

Semana 2

Peso 5,5 kg	Semana 2							12-04-2021/18-04-2021
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	domingo	
1 libertad Condición corporal y cuando recupera el apetito	El paciente come con normalidad y se le empieza a quitar la comida blanda y se le empieza a suministrar más croquetas mantiene el peso.	Paciente ya en la casa come con normalidad le gusta más la comida cacerá que las croquetas	Come con normalidad come más comida cacerá	Come con normalidad va en busca de su propia comida toma agua con normalidad condición corporal mejorando	Con mucho apetito su condición corporal mejora	Su condición corporal mejora tiene un peso de 5,8 kg su apetito es bueno	Paciente muy buen apetito busca su alimento su condición y pelaje mejora	
2 libertad comportamiento del animal	No esta agresiva.	Se adapta con los perros que viven en la casa aun que se les tiene separados por q juegan	Se adapta con los animales de la casa no presenta conducta agresiva	Se adapta a los animales que vive en casa, pero por seguridad se le mantiene a parte	Juega con los animales de la casa	Se adapta con los animales de casa y juega, pero se le mantiene separada	Se adapta a su entorno no es agresiva con los gatos juega con los otros perros	
3 libertad la adaptabilidad de la prótesis y el desplazamiento	Se le saca el vendaje de honda de ehmer y el collar isabelino empieza a bajar un poco el brazo se le hace una prueba con la otra parte de la prótesis asienta la prótesis	Se le colocó el vendaje de nuevo y con collar y que se muerde	Se le saca nuevamente el vendaje y se realiza otra prueba de la prótesis externa	se le hace un vendaje solo de la herida se encuentra muy activa	Se le coloca la segunda parte de la prótesis el animal en el momento de descanso asienta la prótesis	Muy imperativa no le asienta, pero al momento de descanso asienta la prótesis se acuesta con el lado de la cirugía	Se adapta muy bien ya no tiene el vendaje de honda de ehmer solo vendado el lugar de la incisión baja más la extremidad	
4 libertad Dolor Estado de la herida	Disminuye el dolor, pero aún no siente dolor al momento de manipulación	Disminuye en dolor	Poco dolor mejora la manipulación para la colocación de la prótesis externa	Poco dolor se deja manipular con facilidad	El dolor mejora bastante poco dolor a la manipulación	Poco dolor al momento de realizar la limpieza	Poco dolor al momento de la limpieza	
5 libertad Estado emocional Cuando recupera el buen ánimo	Buen estado de ánimo ya no tiene la vía se le administra medicamento oral	Buen estado de ánimo se sube y baja del mueble con normalidad se acuesta	Buen estado de ánimo vuelve a casa	Buen estado de ánimo sube y baja de la cama sale el patio hacer sus necesidades	El animal va ya a casa con la prótesis externa, aunque no la asienta, pero se adapta para moverse con facilidad	El animal es muy imperativo juega salta de la cama sube a la cama sube a los muebles	El animal esta con un excelente estado de ánimo pasa corriendo	

El paciente aun esta con medicamento por vía oral se le está haciendo la limpieza cada día y colocando el portosan en la herida vendado solo la parte de la incisión en el momento de la limpieza no se observa infección ni liquido purulento se ve que no existe rechazo.

Semana 3

Peso 5,8 kg	Semana 3							19-04-2021/25-04-2021
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	domingo	
1 libertad Condición corporal y cuando recupera el apetito	El paciente busca su alimento buen apetito molesta cuando esta con hambre	Come con normalidad su apetito es bueno prefiere el alimento de casa	La paciente esta con buen apetito come comida cacerá y croquetas	La paciente tiene buen estado de ánimo come comida cacerá	Excelente condición corporal buen apetito pesa 6kg	Buen apetito su condición corporal mejora	Paciente muy buen apetito busca su alimento su condición y pelaje mejora	
2 libertad comportamiento del animal	Se adapta a los animales de la casa no es agresiva	Se adapta con los perros que viven en la casa aun que se les tiene separados por q juegan	Juega con los otros perros se adapta a su entorno con los animales de la casa	Muy adaptada en su entorno	No es agresiva se adapta a la familia juega	Se adapta a su entorno no es tímida no es agresiva	Esta ya adaptada en el su entorno no es agresiva con los niños	
3 libertad la adaptabilidad de la prótesis y el desplazamiento	Es más adaptada a la prótesis baja más la prótesis intenta asentar, pero le tiene miedo	Esta ya adaptada a la prótesis se acuesta a lado de la cirugía ya no le duele intenta asentar la prótesis	Esta ya adaptada a la prótesis no le molesta	Adaptada a la prótesis no juega trata de asentar la prótesis la asienta en el momento del descanso	Adaptada ya a la prótesis no es necesario el collar isabelino	Adaptada a la prótesis tiene más movilidad de la extremidad remplazada	Adaptada ya a la prótesis empieza con más movimientos	
4 libertad Dolor Estado de la herida	Casi no hay dolor se deja manipular con facilidad la herida está totalmente limpia	Se deja manipular con facilidad no tiene dolor y la herida está limpia	Ya no hay dolor en el momento de la limpieza se deja manipular con facilidad la herida está limpia	Ya no hay dolor se deja manipular al momento de la limpieza	Hay no hay dolor la herida está en perfectas condiciones	No hay dolor fácil la manipulación al momento de la limpieza	Ya no hay dolor	
5 libertad Estado emocional Cuando recupera el buen ánimo	Buen estado de ánimo juega	Buen estado de ánimo imperativa	Excelente estado de ánimo muy imperativa	Muy buen estado de ánimo juega sube y baja las gradas	Excelente estado de ánimo juega baja y sube de la cama	Buen estado de ánimo muy imperativa	Buen estado de ánimo juega salta en los muebles sube y baja las gradas	

La paciente aun esta con medicamentos vía oral se le realiza la limpieza todos los días no hay secreciones ni mal olor no se ve signos de rechazo de la prótesis

Cuarta semana

Peso 6 kg	Semana 4						26-04-2021/02-05-	2021
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	domingo	
1 libertad Condición corporal y cuando recupera el apetito	Buen apetito Su condición corporal y pelaje han mejorado	Come con normalidad le gusta más la comida cacera que las croquetas	Busca su comida buen apetito	No como mucho por el accidente que tuvo el día de ayer	Ha bajado la cantidad de comida Pero no ha bajado su condición corporal	Come ya con normalidad comida cacera	Buen apetito mantiene su condición corporal y su peso de 6kg	
2 libertad comportamiento del animal	Adaptada su entorno no pelea con los otros animales	Adaptada a los otros animales y las personas que viven en su alrededor	Está muy bien adaptada a su entorno familiar	Adaptada a su entorno	Juega con otros animales y también con las personas que viven en su alrededor	Está muy bien adaptada a su entorno	No es agresiva está muy bien adaptada ni tampoco es tímida	
3 libertad la adaptabilidad de la prótesis y el desplazamiento	Adaptada a la prótesis le empieza asentar mas	Adaptada a la prótesis ya no es necesario el collar isabelino	Tiene un poco de miedo de asentar por el percance	Tiene temor de asentar la prótesis	Esta ya adaptada a la prótesis, pero se ve q hay un retroceso	Esta ya asentado otra vez está adaptada a la prótesis	Esta mejor adapta a la prótesis lo asienta con normalidad la prótesis	
4 libertad Dolor Estado de la herida	no hay dolor y la herida está en perfectas condiciones	No hay dolor ni en el momento de la manipulación	Hay dolor no se deja manipular y no se hace limpieza	A disminuye el dolor se le realiza la limpieza herida en perfectas condiciones	En dolor casi es nulo se le hace limpieza ya no se molesta tanto herida en perfectas condiciones	Existe un poco de dolor, pero lo tolera las limpiezas	No hay dolor ni en el momento de la manipulación la herida en perfectas condiciones	
5 libertad Estado emocional Cuando recupera el buen animo	Buen estado de ánimo juega baja y sube de la cama y las gradas	Buen estado de ánimo muy imperativa juega	No tiene mucho ánimos paso en la cama no juega y tienen miedo de bajar de la cama	Esta recuperado los ánimos, pero tiene miedo al momento de saltar	Ya tiene más confianza hoy salto a la cama, pero ya no pudo bajar	Esta de buen estado de ánimos ya baja y sube de la cama y baja las gradas	Buen estado de ánimos juega salta y baja de la cama con normalidad	

La paciente ya no está con medicamentos el día miércoles tuvo un accidente al momento de bajar de la cama salto y acento primero la prótesis el cual le causo mucho dolor y ubo un retroceso en la adaptabilidad de la prótesis ya que tenía miedo de asentarla

Desde la semana siguiente se le realizaron las limpiezas cada 3 días y se dejó de utilizar el protosan en el momento de la limpieza no hay liquido purulento ni mal olor no hay un rechazo de la prótesis.

ANEXO M: Autorización de la publicación en el Repositorio Institucional

Autorización de Publicación en el Repositorio Institucional

Silvia Jaqueline Huilca Chiriboga portador(a) de la cédula de ciudadanía N.º **0605299676**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “**Diseño e impresión de una prótesis en 3D para pacientes con amputación transhumeral**” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **18 de octubre de 2021**

.....
Silvia Jaqueline Huilca Chiriboga

C.I. 0605299676