

## JEFATURA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

### Título del proyecto

HIPÓTESIS DEL REFUGIO HIPORREICO: DESCRIPCIÓN DE NICHOS  
ECOLÓGICOS EN MACROINVERTEBRADOS CON ISÓTOPOS ESTABLES EN LA  
SUBCUENCA DEL MACHÁNGARA

**Carrera(s):** INGENIERÍA AMBIENTAL,

### Director del Proyecto:

JAZMIN SALAZAR ORELLANA; 0703228841; ENFERMERÍA; UNIDAD ACADÉMICA DE SALUD Y BIENESTAR;  
MATRIZ

### Colaboradores del Proyecto

Carlos Marcelo Matovelle Bustos; 0302013578; Ingeniería Ambiental; Ingeniería, Industria y Construcción; Matrix

DIEGO AQUILES HERAS BENAVIDES; 0103557518; Ingeniería Ambiental; Ingeniería, Industria y Construcción; Matrix

**Código de Proyecto: PICCIITT19-52**

**Cuenca, junio de 2021**

**Versión 2.0**

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>A. DATOS GENERALES DEL PROYECTO .....</b>	<b>3</b>
1. TÍTULO.....	3
2. CARRERAS .....	3
3. MATRIZ, SEDE O EXTENSIÓN .....	3
<b>B. INVESTIGADORES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO .....</b>	<b>3</b>
4. PERSONAL DEL PROYECTO – DIRECTOR DE L PROYECYO .....	3
4.1. <i>Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:</i> .....	3
4.2. <i>Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.</i> .....	3
4.3. <i>Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:</i> .....	4
5. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA.....	4
5.1. <i>Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:</i> .....	4
5.2. <i>Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.</i> .....	4
5.3. <i>Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:</i> .....	5
6. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES EXTERNOS .....	5
6.1. <i>Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:</i> .....	5
6.2. <i>Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.</i> .....	5
6.3. <i>Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:</i> .....	6
<b>C. ESTUDIANTES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO.....</b>	<b>6</b>
7. PERSONAL DEL PROYECTO – ESTUDIANTES.....	6
<b>D. CENTRO DE INVESTIGACIÓN INVOLUCRADOS Y BENEFICIARIOS.....</b>	<b>6</b>
8. CENTRO Y GRUPO DE INVESTIGACIÓN .....	7
9. LÍNEA Y ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL.....	7
10. CAMPO, DISCIPLINA Y SUBDISCIPLINA UNESCO .....	7
11. PROGRAMA: .....	7
12. TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	7
13. FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO .....	7
14. REQUIERE AVAL Y/O PERMISO DEL COMITÉ DE BIOÉTICA Y EL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA.....	8
15. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	8
<b>E. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....</b>	<b>8</b>
16. RESUMEN DEL PROYECTO .....	8
17. PALABRAS CLAVES .....	8
18. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN .....	9
19. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	9
20. OBJETIVOS .....	11
21. ESPECÍFICOS.....	11
22. MARCO METODOLÓGICO.....	11
<b>F. IMPACTO DEL PROYECTO .....</b>	<b>12</b>
23. CONSIDERACIONES ÉTICAS DE LA PROPUESTA.....	13
24. RESULTADOS ESPERADOS DEL PROYECTO .....	13
25. TRANSFERENCIA Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS .....	13
26. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	13
<b>G. ANEXOS.....</b>	<b>17</b>

## A. DATOS GENERALES DEL PROYECTO

<b>1. TÍTULO</b>
HIPÓTESIS DEL REFUGIO HIPORREICO: DESCRIPCIÓN DE NICHOS ECOLÓGICOS EN MACROINVERTEBRADOS CON ISÓTOPOS ESTABLES EN LA SUBCUENCA DEL MACHÁNGARA
<b>2. CARRERAS</b>
INGENIERÍA AMBIENTAL,
<b>3. MATRIZ, SEDE O EXTENSIÓN</b>
MATRIZ CUENCA

## B. INVESTIGADORES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

<b>4. PERSONAL DEL PROYECTO – DIRECTOR DE L PROYECYO</b>	
Función en el proyecto	DIRECTOR DEL PROYECTO
Nombre, Cédula; Carrera; Unidad Académica; Sede o Extensión	
JAZMIN SALAZAR ORELLANA; 0703228841; ENFERMERÍA; UNIDAD ACADÉMICA DE SALUD Y BIENESTAR; MATRIZ	
4.1. Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:	
Título del artículo,; revista; ISSN; volumen; número; año; DOI; cuartil	
Endophytic fungi associated with roots of epiphytic orchids in two Andean forests in southern Ecuador and their role in germination; LANKESTERIANA; 20; 1; 2020; <a href="http://dx.doi.org/10.15517/lank.v20i1.41157">http://dx.doi.org/10.15517/lank.v20i1.41157</a> ; Q2.	
Specificity of mycorrhizal fungus (Rhizoctonia sp.) In Phaelonopsis sp., Cymbidium sp., Trichocerus antenifer, Oncidium excavatum, and Cyrtochillum sp.; MASKANA; 7; 1; 2016; <a href="https://doi.org/10.18537/mskn.07.01.08">https://doi.org/10.18537/mskn.07.01.08</a>	
4.2. Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.	
Título del libro o capítulo de libro; editorial; ISBN; número; año; revisión de pares (SI-NO)	

4.3. Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:

Nombre del proyecto; Institución; Monto financiado; fecha de inicio; fecha de culminación.

Identification of biogeochemical and hydrological processes in wetlands using stable isotope techniques: comparing paramo and Amazon ecosystems in southern Ecuador for greenhouse gas mitigation ; CEPRA XII- RED CEDIA Call for proposals 2019; \$73951,70; AGOSTO 2019; FEBRERO 2021

Development and biotechnological innovation for the promotion of important agricultural items in food security, exportable competitiveness, and adaptation to climate change; Austro Station National Institution for Agricultural and livestock research- INIAP / National Secretary of Education, Science and Technology - SENESCYT; \$1458753,42; 2012; 2016

**5. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

Función en el proyecto	COLABORADORES UCACUE
------------------------	----------------------

Nombre, Cédula; Carrera; Unidad Académica; Sede o Extensión

Carlos Marcelo Matovelle Bustos; 0302013578; Ingeniería Ambiental; Ingeniería, Industria y Construcción; Matrix

DIEGO AQUILES HERAS BENAVIDES; 0103557518; Ingeniería Ambiental; Ingeniería, Industria y Construcción; Matrix

5.1. Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:

Título del artículo,; revista; ISSN; volumen; número; año; DOI; cuartil

Carlos Matovelle; DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR WATER RESOURCE MANAGEMENT APPLIED TO ANDEAN SUPPLY MICRO-BASINS; WIT Transactions on Ecology and the Environment; Vol 238. Octubre 2019.

Carlos Matovelle; Machine-learning methods for hydrological imputation data: analysis of the goodness of fit of the model in hydrographic systems of the Pacific - Ecuador; Ambiente & Agua – Journal of Applied Science; Vol 16, 3 , 2021; Q3

Carlos Matovelle; Analysis of the behavior of an Andean river at different loads of organic matter through the use of mathematical models with experimentally specific kinetic rates; International Journal of Sustainable Development and Planning; Vol 12, N3, 2021; <https://doi.org/10.26871>; Q3

Diego Eras; Clasificador de imágenes de frutas basado en inteligencia artificial; Killkana; 1, 2, Mayo-Agosto 2017.

Diego Eras; Machine-learning methods for hydrological imputation data: analysis of the goodness of fit of the model in hydrographic systems of the Pacific - Ecuador; Ambiente & Agua – Journal of Applied Science; Vol 16, 3 , 2021; Q3

5.2. Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.

Título del libro o capítulo de libro; editorial; ISBN; número; año; revisión de pares (SI-NO)

Carlos Matovelle; MODELACIÓN HIDROLÓGICA PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD DE SEQUÍAS CON ESCENARIOS DE CAMBIO DE USO DE SUELO EN UNA CUENCA HIDROGRÁFICA ANDINA; CUJAE; 978-959-261-585-4; 2018.

Carlos Matovelle; GENERACIÓN ELÉCTRICA MEDIANTE UN PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA CONTROLADA DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS COMO UNA ALTERNATIVA PARA LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA DE GRANJAS EN ZONAS ANDINAS; Cuaje; 978-959-261-585-4, 2018.

Carlos Matovelle;

5.3. Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:

Nombre del proyecto; Institución; Monto financiado; fecha de inicio; fecha de culminación.

Carlos Matovelle; Caracterización hidroquímica de las quebradas de la microcuenca del río Tabacay; Universidad Católica de Cuenca; \$45000; Marzo 2018; Septiembre 2019.

Carlos Matovelle; Estudio morfométrico de las cuencas que forman la vertiente del Pacífico Ecuador; Universidad Católica de Cuenca; \$45000; Marzo 2018; Septiembre 2019.

Carlos Matovelle; Evaluación de los efectos de las actividades socioeconómicas en el cambio del uso del suelo y del cambio climático en las amenazas a inundaciones y sequías en la cuenca del río Tomebamba; CEDIA; \$112000; Septiembre 2019; Octubre 2019.

## 6. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES EXTERNOS

Función en el proyecto	COLABORADORES EXTERNOS
------------------------	------------------------

Nombre, Institución

Silvia Parra Suárez; Universidad de Bayreuth Alemania

Johanna Quezada; ELECAUSTRO

6.1. Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:

Título del artículo,; revista; ISSN; volumen; número; año; DOI; cuartil

Silvia Parra; Origin and fate of nitrate runoff in an agricultural catchment (Haean, South Korea) – Comparison of two extremely different monsoon seasons; Science of the Total Environment; 648;15;2019; doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.115; Q1

Silvia Parra; The fate of monsoonal atmospheric nitrate deposition in two forest catchments in Soyang lake watershed, South Korea – A mass balance and stable isotope approach; Biogeochemistry; 142; 2019; https://doi.org/10.1007/s10533-018-0522-2; Q1

Silvia Parra; Relationship between nitrogen isotope ratios of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and N<sub>2</sub>O in vertical porewater profiles through a polluted rain-fed peat bog (Ore Mts., Central Europe); Soil Biology and Biogeochemistry Journal; 123; 2018; https:// doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.04.022; Q1

6.2. Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.

Título del libro o capítulo de libro; editorial; ISBN; número; año; revisión de pares (SI-NO)

Silvia Parra; Origin and fate of nitrate runoff in an agricultural catchment (Haeon, South Korea) – Comparison of two extremely different monsoon seasons; Science of the Total Environment; 648;15;2019; doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.115; Q1

Silvia Parra; The fate of monsoonal atmospheric nitrate deposition in two forest catchments in Soyang lake watershed, South Korea – A mass balance and stable isotope approach; Biogeochemistry; 142; 2019; https://doi.org/10.1007/s10533-018-0522-2; Q1

Silvia Parra; Relationship between nitrogen isotope ratios of NO<sub>3</sub>- and N<sub>2</sub>O in vertical porewater profiles through a polluted rain-fed peat bog (Ore Mts., Central Europe); Soil Biology and Biogeochemistry Journal; 123; 2018; https:// doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.04.022; Q1

6.3. Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:

Nombre del proyecto; Institución; Monto financiado; fecha de inicio; fecha de culminación.

Silvia Parra; Identification of biogeochemical and hydrological processes in wetlands using stable isotope techniques: comparing paramo and Amazon ecosystems in southern Ecuador for greenhouse gas mitigation; CEPRA XII- RED CEDIA Call for proposals 2019; \$73951,70; Agosto 2019; Febrero 2021.

Silvia Parra; Isotope constraints on microbial N<sub>2</sub>- fixation in ombrotrophic peat bogs; CZECH Geological Survey; 35000€; Marzo 2017; Marzo 2018

Silvia Parra; Complex TERRain and ECOlogical Heterogeneity Evaluating ecosystem services in production versus water yield and water quality in mountainous landscapes (TERRECO);DFG; \$50000; Abril 2017; Abril 2018

## C. ESTUDIANTES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

### 7. PERSONAL DEL PROYECTO – ESTUDIANTES

Función en el proyecto	ESTUDIANTES COLABORADORES EN EL PROYECTO
------------------------	--

Nombre; Cédula; Carrera; Unidad Académica; Sede o Extensión

Pablo Yaguana Castillo; 1105799215; Ingeniería Ambiental; Unidad Académica Ingeniería Industria y Construcción; Matriz.

## D. CENTRO DE INVESTIGACIÓN INVOLUCRADOS Y BENEFICIARIOS

<b>8. CENTRO Y GRUPO DE INVESTIGACIÓN</b>					
Centro de Investigación CIITT					
Grupo de Investigación INGENIERÍA AMBIENTAL,					
<b>9. LÍNEA Y ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL</b>					
Para información sobre las líneas de investigación dirigirse al enlace <a href="#">Líneas y Ámbitos de Investigación Institucionales</a> ,					
<b>Línea de Investigación:</b> Territorios, Naturalezas y Tecnología					
<b>Ámbito de Investigación:</b> Estudios ecosistémicos					
<b>10. CAMPO, DISCIPLINA Y SUBDISCIPLINA UNESCO</b>					
Código del campo y de la disciplina según UNESCO en el enlace <a href="#">SKOS</a>					
Campo	24	Disciplina	2499	Sub disciplina	2499
<b>11. PROGRAMA:</b>					
En caso de que el proyecto sea parte de un programa.					
<b>12. TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO</b>					
Duración del proyecto en meses			24		
<b>13. FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO</b>					
Monto financiamiento UCACUE			\$ 15000		
Monto otras fuentes de financiamiento			\$ 35000		
Monto Total del financiamiento Proyecto			\$ 50000		

**14. REQUIERE AVAL Y/O PERMISO DEL COMITÉ DE BIOÉTICA Y EL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA**

NO

**Justificación:**

**15. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

Docentes/investigadores del Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología (CIITT) e Investigadores de la Universidad de Bayreuth quienes participarán de manera directa en las actividades planteadas;

La Universidad Católica de Cuenca se beneficiará con las publicaciones de los resultados. Así como, con la vinculación internacional a través de la colaboración de investigadores de la Universidad de Bayreuth;

Entidades como: ELECAUSTRO, ETAPA al conocer la calidad de agua y los cambios que ocurren a lo largo de la cuenca hidrográfica.

Investigadores relacionados a la temática, ya que se generará información científica.

**E. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA**

**16. RESUMEN DEL PROYECTO**

Se cree que la zona hiporreica (HZ) tiene múltiples funciones para los macroinvertebrados, pero su papel en la persistencia de estos después de perturbaciones antropogénicas ('hipótesis de refugio hiporreico', HRH)(1,2) nunca se ha demostrado claramente. La complejidad de la zona hiporreica como nicho ecológico de macroinvertebrados requiere de estudios igual de exhaustivos y detallados. En este estudio relacionamos la variación del nicho trófico con la calidad de la carga antropogénica en los ríos y en distintos escenarios de uso de suelo, cambio climático, crecimiento urbano, etc. Con la ayuda de técnicas isotópicas analizaremos comunidades de macroinvertebrados en la zona hiporreica a lo largo de los efluentes de la cuenca del Machángara. Evaluaremos (1)  $\delta^{15}\text{N}$  en macroinvertebrados bentónicos y sus fuentes de alimento como hojarasca, materia orgánica particulada en suspensión, algas, etc. (2) concentración y análisis isotópico  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  de amonio y nitratos para entender las fuentes de contaminación. (3) El ancho del nicho de los macroinvertebrados, calculado como el rango de  $\delta^{13}\text{C}$  donde abarcarían los taxones observados en el acoplamiento de los signos  $\delta^{13}\text{C} - \delta^{15}\text{N}$ . Con esta investigación queremos resaltar la importancia funcional de la zona hiporreica para la restauración y conservación de los ríos. Muchas actividades que restauran o protegen la biota de la superficie y los hábitats probablemente también beneficien a la fauna y los procesos hiporreicos, pero esta predicción debería ser probada en este estudio.

**17. PALABRAS CLAVES**

Cuenca hidrográfica, macroinvertebrados, isótopos estables, propiedades del agua.



## 18. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La salud de los recursos hídricos ha pasado de ser una cuantificación de estado de la calidad del agua a entender el estado eco hidrológico de todos sus componentes (3,4). Estos son componentes de carácter biológico, biogeoquímico e hidrológico y se localizan, no solo en la escorrentía sino también en nichos ecológicos más complejos como el agua subterránea y la zona hiporreica. Por lo tanto, debe existir un completo entendimiento de la funcionalidad y las variables fisicoquímicas que afectan dicha funcionalidad ecosistémica.

Se cree que la zona hiporreica (HZ) tiene múltiples funciones para los invertebrados, pero su papel en la persistencia de conjuntos de macroinvertebrados después de perturbaciones antropogénicas ('hipótesis de refugio hiporreico') (1,2) nunca se ha demostrado claramente. La complejidad de la zona hiporreica como nicho ecológico de macroinvertebrados requiere de estudios igual de exhaustivos. La aplicación de herramientas estándar de evaluación, que permitan entender los complejos procesos que la influyen, requiere de estudios largos y en alta resolución.

Es importante entender las trayectorias de flujo, su dirección y magnitud en la distribución de ensamblajes hiporreicos, las conexiones entre los flujos hiporreicos y la geomorfología de la superficie (5). Estos son cruciales para determinar la mayoría de los procesos hiporreicos que protegen a los invertebrados, e identificación áreas fluviales con capacidad de refugio (HotsPots) (6).

De igual manera, el estudio del flujo de nutrientes que influyen la productividad y modifican el nicho ecológico de macroinvertebrados permite evaluar a mayor profundidad la salud eco hidrológica de nuestros sistemas fluviales (7). Considerando el estado de este tipo de estudios en las regiones neotropicales, este proyecto presenta un conjunto de herramientas que se caracterizan por dar respuestas concretas sobre dichos procesos (8).

En este estudio analizaremos los macroinvertebrados en la zona hiporreica a lo largo de los efluentes de la cuenca del Machángara. Para evaluar los efectos de la urbanización, uso de suelo, clima y las entradas difusas de perturbación a lo largo del río, mediremos la diferencia río arriba-río abajo entre (1)  $\delta^{15}\text{N}$  en macroinvertebrados y sus fuentes de alimento (2) concentración y análisis isotópico  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  de amonio y nitratos para entender las fuentes de contaminación. (3) El nicho de los macroinvertebrados, calculado como el rango de  $\delta^{13}\text{C}$  y el área convexa en el acoplamiento de los signos  $\delta^{13}\text{C} - \delta^{15}\text{N}$ . De igual manera evaluaremos DOC, DIC, DO y análisis isotópicos de  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^{2}\text{H}$ .

## 19. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Durante décadas el uso de macroinvertebrados ha descrito los procesos hidrológicos en la superficie acuática. Sin embargo, el nicho ecológico de estos organismos y los procesos que afectan su distribución se localiza directamente en la zona hiporreica, considerada un ecotono ubicada por debajo del río en donde se acumulan sedimentos y se produce el intercambio vertical entre el agua superficial y subterránea (5,9). Se caracterizan por tener procesos biológicos, químicos y metabólicos específicos que actúan de manera similar pero no exacta a las aguas superficiales o subterráneas y que afectan, no solo en una escala local, si no que marca en el funcionamiento biogeoquímico que posteriormente impactará a toda una red fluvial (5).

El intercambio hidrológico entre la corriente y la zona hiporreica incide en el transporte de productos de las actividades biogeoquímicas dentro de los sedimentos. Los intercambios de agua, nutrientes y materia orgánica ocurren en respuesta a variaciones en la cuenca (5,10). Los gradientes dinámicos de este ecotono se presenta en diferentes escalas y varían temporalmente (11). El agua rica en nutrientes produce "HotsPots" de productividad primaria. Por otro lado, las aguas superficiales suministran materia orgánica y  $\text{O}_2$  disuelto

a los invertebrados. En algunas regiones del planeta la zona hiporreica contribuye al 40-50% de la respiración total del ecosistema (12). Su principal limitante es la disminución de la luz y la velocidad de flujo hídrico.

La HZ es un entorno relativamente rico y casi todos los grupos de invertebrados han colonizado este hábitat (13). Esta fauna, está compuesta por especies típicas del ambiente intersticial, y también por especies bentónicas (8). La microbiota hiporreica se compone de bacterias, arqueas, protozoos y hongos. Sin embargo, a lo largo del tiempo encontraron que la productividad microbiana era insuficiente para sustentar la producción de invertebrados en la zona hiporreica del río (14). Un resultado que sugiere que otros procesos metabólicos, como la metanogénesis, podrían estar contribuyendo con energía a niveles tróficos más altos. La abundancia de invertebrados disminuye con la profundidad, pero también varía verticalmente en función de los intercambios de agua con la corriente superficial y, posteriormente, en función de la permeabilidad de los sedimentos, la concentración de oxígeno, la cantidad y calidad de los recursos de alimentación y las condiciones térmicas influenciadas por el clima (8).

Se cree que la zona hiporreica (HZ) tiene múltiples funciones para los invertebrados, pero su papel en la persistencia de conjuntos bentónicos después de perturbaciones ('hipótesis de refugio hiporreico') nunca se ha demostrado claramente desde su propuesta inicial en 1953(1) hasta en las décadas posteriores (2,15,16).

La zona hiporreica es uno de los ambientes acuáticos más amenazados por las actividades humanas y el menos protegido por la legislación a nivel mundial. Su mantenimiento y conservación es imperioso para preservar y reestablecer la interconectividad ecológica entre las dimensiones espaciales del medio acuático. Esta zona es intensamente influenciada por las variaciones climáticas propias de cada región (6,17,18,22) modificación en la morfología de los cauces, variación en los caudales (16–18) e impactos derivados de actividades extractivas (19–21).

En la región Andina la zona hiporreica adquiere una gran relevancia desde el punto de vista ecológico por mantener la conexión hidrológica entre los ambientes superficiales y subterráneos y por actuar como zona de amortiguación y de refugio para la fauna bentónica ante condiciones extremas.

Los isótopos estables se pueden utilizar como marcadores de huellas biológicas de la siguiente manera: 1) para identificar fuentes en una red alimentaria(29–37), 2) para cuantificar las entradas relativas en un sistema, por ejemplo determinar las proporciones de diferentes presas en la dieta de un consumidor. (38–40–44)

El crecimiento de zonas urbanas representa una amenaza para la integridad ecológica de los arroyos, aquí se drenan las aguas a las cuencas, generando efectos negativos por aumento de los caudales, erosión de las riberas de los arroyos, carga de contaminantes (28) y el cambio climático, influyen los nichos tróficos de macroinvertebrados consumidores al inducir cambios en la descomposición de la hojarasca vegetal, las tasas de deposición orgánica y la disponibilidad de fuentes de alimentos, que modifican el metabolismo de los ríos y los patrones de alimentación de las poblaciones habitantes (29–31).

Muchos estudios se enfocan en la distribución de los macroinvertebrados y como los contaminantes afectan la presencia/ausencia de estos; pero muy pocos estudios se preguntan por las preferencias tróficas de estos, o relacionan la variación del nicho trófico con la calidad de la carga antropogénica en los ríos.

Se ha demostrado que los isótopos estables de C y N responden a los cambios ambientales (32) y se ha utilizado  $\delta^{15}\text{N}$  para distinguir diferentes fuentes de contaminación por nitrógeno (33,34). De igual manera y dado que las comunidades de macroinvertebrados, se ven directamente afectadas por los cambios en cargas orgánicas en los ríos y composición de los sedimentos, es importante evaluar los efectos de fuentes puntuales y difusas de perturbación en las comunidades fluviales urbanas como para identificar indicadores tróficos de estrés urbano; es por eso que la caracterización isotópica de posibles fuentes alimenticias, sedimentos y agua

( $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$   $\delta^2\text{H}$ ) es un paso fundamental para la descripción final del nicho ecológico (52–55, 29,56–59).

Por último, la descripción de las cadenas trópicas y nichos ecológicos de los macroinvertebrado no pueden estar aislados de una evaluación en tiempo y espacio. Esto nos permitirá identificar posibles cambios en las comunidades debido al cambio climático y al uso del suelo. Por lo que se requiere de un estudio conjunto de fuentes de agua que confluyen dentro de la zona hiporreica y sus cambios con el cambio de temporalidad (43).

## 20. OBJETIVOS

Determinar la funcionalidad de macroinvertebrados acuáticos como indicadores del desarrollo de una cuenca hidrográfica, a través del análisis de las cadenas tróficas mediante isótopos estables y análisis físico-químicos del agua

## 21. ESPECÍFICOS

- 1) Identificar los grupos de alimentación funcional de macroinvertebrados y su composición a lo largo de la subcuenca del Machángara;
- 2) Determinar los valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  de la red alimenticia y medición de los parámetros físico-químicos.
- 3) Establecer en qué forma las variables ambientales inciden sobre la composición de los grupos alimenticios funcionales de macroinvertebrados
- 4) Comparar la composición de los grupos funcionales alimenticios de macroinvertebrados a lo largo de la subcuenca del Machángara.

## 22. MARCO METODOLÓGICO

Sitio de estudio: El estudio se realizará a lo largo de la Subcuenca del Machángara. Sistema hidrográfico del Santiago, que ocupa un territorio de 32.500 hectáreas.

Colecta de muestras: Se establecerán 8 puntos de colecta de macroinvertebrados, que nos permitirán realizar comparaciones entre la calidad de agua de los afluentes, efluentes y los posibles cambios que pueden presentar a largo de la cuenca hidrográfica, aproximadamente 34,81Km, por las actividades antrópicas que se desarrollan

Análisis físico-químico: El agua colectada en cada uno de los puntos establecidos será trasladada al laboratorio, filtrada (filtro de 0.45  $\mu\text{m}$ .) para realizar el análisis de  $\text{P04-P}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{DOC}$ ,  $\text{DIC}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  and  $\text{K}^+$ . Además se medirá  $\text{pH}$ , Temperatura y oxígeno disuelto en la superficie del agua en cada uno de los puntos de muestreo.

Colecta de Macroinvertebrados: En cada punto de muestreo se marcará un transepto de 10 metros en donde se colectarán 3 muestras de macroinvertebrados tomadas al azar, empleando una red de Surber; abarcando 1m<sup>2</sup> por estación. Las muestras serán trasladadas al laboratorio de Contaminación Ambiental y Aguas residuales donde se clasificarán por familia.

Intercambio con zona hiporreica: Para determinar si existe un intercambio de agua con la zona hiporreica del río se colocarán sensores de temperatura a 5, 10, 15, 25, 40 cm. de profundidad. Los datos serán registrados y almacenados en un data logger que será ubicado en cada punto de muestreo (8).

## Análisis Isotópicos

### Relaciones de abundancia $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ (Cadenas tróficas en macroinvertebrados )

Los invertebrados se mantendrán vivos en contenedores durante 6 h para que se les aclaren las tripas. Posteriormente se secarán a  $60^\circ\text{C}$  por al menos 2 horas o se someterán a un proceso de sublimación por 24h. Luego se los pulveriza en un polvo homogéneo. Los análisis se llevaron a cabo utilizando un espectrómetro de masas de relación de isótopos de flujo continuo (Finnigan Delta Plus) equipado con un analizador elemental (EA) (Carlo Erba).

Este análisis también se realizará para determinar los signos isotópicos de las posibles fuentes alimentarias. Previo al análisis isotópico las algas se coleccionarán raspando las rocas del lecho del río, en el laboratorio se lavarán en HCl 1 M diluido para eliminar el carbono inorgánico. La materia orgánica terrestre se cortará en trozos pequeños. Todas las muestras, excepto los invertebrados, se triturarán hasta obtener un polvo del que se utiliza alcuotas de  $0,5 \pm 1,5$  mg para el análisis. Las muestras de invertebrados para el análisis de isótopos consistieron en  $2 \pm 5$  individuos completos de cada uno de los taxones dominantes si se los seca a  $60^\circ\text{C}$  o de 1mg si se los sublima.

Para evaluar (1) la cantidad y la firma isotópica de la materia orgánica particulada en suspensión (POM) y (2) las concentraciones de nutrientes disueltos, se tomarán muestras de seis repeticiones de 500 ml de agua para cada análisis en todas las estaciones. La materia particulada en suspensión total se determinará mediante filtrado de agua (tres repeticiones de 500 ml) con un filtro de fibra de vidrio pre combustible (que produce sólidos suspendidos totales, TSS) y luego se quema para evaluar su componente orgánico (POM como sólidos suspendidos volátiles, VSS) de acuerdo con los métodos estándar (APHA, 1985). Las otras tres réplicas después del filtrado no se queman, sino que se secan a  $60^\circ\text{C}$  y se almacenan sobre desecante para un análisis posterior de isótopos estables.

Calcularemos las relaciones de masa C: N para todas las muestras de fuentes de alimentos, muestras basadas en masas totales de carbono y nitrógeno que se obtienen de los análisis del espectrómetro de masas.

### Relaciones de abundancia $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ (Fuentes de contaminación por nitratos)

La extracción de nitrato de las muestras de agua para el análisis posterior de la abundancia de isótopos sigue el procedimiento descrito por (44). Abundancias relativas de isótopos de nitrógeno de las muestras de nitrato ( $\delta^{15}\text{NNO}_3^-$ ) se medirán con un analizador elemental (Carlo Erba 1108, Milán, Italia) para la combustión de Dumas seguida de cromatografía de gases y alimentación de  $\text{N}_2$  en un espectrómetro de masa de relación de isótopos de flujo continuo (delta S Finnigan MAT, Bremen, Alemania) a través de una interfaz ConFlo III (Thermo Fisher Scientific, Bremen, Alemania) como lo describen (45). El gas patrón de nitrógeno se calibrará con respecto al patrón internacional ( $\text{N}_2$  en el aire) utilizando las sustancias de referencia  $\text{N}_1$  y  $\text{N}_2$  proporcionadas por el OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena, Austria). Las cantidades de nitrógeno en las muestras se calcularán a partir de las áreas de los picos utilizando una curva de calibración de seis puntos por ejecución de muestra y basada en mediciones del estándar de laboratorio acetanilida con un contenido de nitrógeno conocido del 10,36%.

Abundancias relativas de isótopos de oxígeno de las muestras de nitrato ( $\delta^{18}\text{ONO}_3^-$ ) se medirán mediante conversión térmica mediante pirólisis (HTO, HEKAtech, Wegberg, Alemania) seguido de cromatografía de gases y alimentación de CO a un espectrómetro de masas de relación de isótopos de flujo continuo (delta Vadvantage Thermo Fisher Scientific) a través de una interfaz ConFlo IV (Thermo Fisher Scientific) como describen (46). El gas patrón de CO se calibrará con respecto al estándar internacional (V-SMOW) utilizando las sustancias de referencia IAEA601 e IAEA602 proporcionadas por el OIEA. Las cantidades de oxígeno en las muestras se calcularán a partir de las áreas de los picos utilizando una curva de calibración de seis puntos por muestra y basada en mediciones del ácido benzoico estándar de laboratorio con un contenido de oxígeno conocido del 26,20%.

## F. IMPACTO DEL PROYECTO

## 23. CONSIDERACIONES ÉTICAS DE LA PROPUESTA

El proyecto planteado no presenta ningún tipo de conflicto bioético.

La asociación estratégica con la Universidad de Bayreuth nos permitirá trabajar sin mayores inconvenientes. Siendo probable que nuestro trabajo aporte en la toma de decisiones frente a las actividades antropogénicas a lo largo de la subcuenca y como estas influyen en la calidad del agua

## 24. RESULTADOS ESPERADOS DEL PROYECTO

OE1) Identificar los grupos de alimentación funcional de macroinvertebrados y su composición a lo largo de la subcuenca del Machángara;

RESULTADOS: Los resultados obtenidos nos permitirán conocer las familias de macroinvertebrados que componen un determinado sitio de muestreo y como estas pueden variar según las condiciones físico-químicas del agua posiblemente afectadas por las actividades antropogénicas.

OE2) Determinar los valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  de la red alimenticia y medición de los parámetros físico-químicos.

RESULTADOS: Estos valores serán indicadores de las alteraciones por actividad antropogénica en los nichos ecológicos de los macroinvertebrados.

OE3) Establecer en qué forma las variables ambientales inciden sobre la composición de los grupos alimenticios funcionales de macroinvertebrados.

RESULTADOS: La información que se obtendrá permitirá relacionar de alguna manera las propiedades físicas-químicas del agua con la composición de los grupos funcionales alimenticios de macroinvertebrados presentes a lo largo de la subcuenca del Machángara y donde se puede presentar intercambio con la zona hiporreica.

OE4) Comparar la composición de los grupos funcionales alimenticios de macroinvertebrados a lo largo de la subcuenca del Machángara.

RESULTADOS: Los resultados nos permitirán determinar qué puntos a lo largo de la subcuenca del Machángara están siendo alterados por las actividades antropogénicas.

## 25. TRANSFERENCIA Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS

La ejecución del proyecto permitirá potenciar la capacidad de la institución para abordar a mediano y largo plazo estudios en temática similares; las herramientas metodológicas y el conocimiento adquirido se podrán aplicar a nivel local, regional e internacional. Todo lo anterior se verá reflejado en un incremento de la productividad científica de la institución.

Los resultados obtenidos en el desarrollo de un proyecto de investigación, permitirá la generación de conocimiento científico que será transferido mediante artículos científicos y la difusión de los resultados directamente a los agricultores de la zona de estudio.

## 26. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Angelier E. Recherches écologiques et bio géographiques sur la faune des sables submerge's. Arch Zool Exp Gen. 1953;90:37-162.

2. Palmer MA, Bely AE, Berg KE. Response of invertebrates to lotic disturbance: a test of the hyporheic refuge hypothesis. Oecologia. 1992;89(2):182-94.

3. Castellanos K, Pizarro J, Cuentas K, Costa J, Pino Z, Gutierrez C, et al. Lentic water quality characterization using macroinvertebrates as bioindicators: An adapted BMWP index. *Ecol Indic.* 2017;72:53–66.
4. Damanik-Ambarita M, Lock K, Boets P, Everaert G, Tuen H, Eurie A, et al. Ecological water quality analysis of the Guayas river basin (Ecuador) based on macroinvertebrates indices. *Limnologia.* 2016;57:27–59.
5. Mugnai R, Messana G, Di Lorenzo T. The hyporheic zone and its functions: revision and research status in Neotropical regions. *Brazilian J Biol.* 2015;75(3):524–34.
6. Boulton AJ, Hancock PJ. Rivers as groundwater-dependent ecosystems: A review of degrees of dependency, riverine processes and management implications. *Aust J Bot.* 2006;54(2):133–44.
7. Boulton A, Harvey M, Proctor H. Of spates and species: responses by interstitial water mites to simulated spates in a subtropical Australian river. *Exp Appl Acarol.* 2004;34:149–69.
8. Dole-Olivier MJ. The hyporheic refuge hypothesis reconsidered: A review of hydrological aspects. *Mar Freshw Res.* 2011;62(11):1281–302.
9. Cardenas MB. Hyporheic zone hydrologic science: A historical account of its emergence and prospectus. *Water Res.* 2015;51:3601–33616.
10. Boulton AJ, Datry T, Kasahara T, Mutz M, Stanford JA. Ecology and management of the hyporheic zone: Stream-groundwater interactions of running waters and their floodplains. *J North Am Benthol Soc.* 2010;29(1):26–40.
11. Gilbert J, Dole-Olivier MJ, Marmonier P, Vervier P. Surface water-groundwater ecotones. In: Naiman RJ, Decamps H, editors. *The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones.* Carnforth, UK: United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization, Paris and Parthenon; 1990. p. 199–226.
12. Findlay S. Importance of surface-subsurface exchange in stream ecosystems: The hyporheic zone. *Limnol Oceanogr.* 1995;40(1):159–64.
13. Gibert J, Deharveng L. Subterranean ecosystems: A truncated functional biodiversity. *Bioscience.* 2002;52(6):473–81.
14. Craft JA, Stanford JA, Pusch M. Microbial respiration within a floodplain aquifer of a large gravel-bed river. *Freshw Biol.* 2002;47(2):251–61.
15. Dehedin A, Dole-Olivier MJ, Piscart C, Mimoun D, Bornette G, Marmonier P. Long-term changes and drying modality affect interstitial assemblages of alluvial wetlands. *Wetlands.* 2013;33(3):537–50.
16. Almeida EF, Oliveira RB, Mugnai R, Nessimian JL, Baptista DF. Effects of small dams on the benthic community of streams in an atlantic forest area of southeastern Brazil. *Int Rev Hydrobiol.* 2009;94(2):179–93.
17. Fabian MW, Endreny TA, Bottacin-Busolin A, Lautz LK. Seasonal variation in cascade-driven hyporheic exchange, northern Honduras. *Hydrol Process.* 2011;25(10):1630–46.
18. Duke JR, White JD, Allen PM, Muttiah RS. Riparian influence on hyporheic-zone formation downstream of a small dam in the Blackland Prairie region of Texas. *Hydrol Process [Internet].* 2007;21:141–50. Available from: <http://jamsb.austms.org.au/courses/CSC2408/semester3/resources/ldp/abs-guide.pdf>
19. Pinto BCT, Araujo FG, Hughes RM. Effects of landscape and riparian condition on a fish index of biotic integrity in a large southeastern Brazil river. *Hydrobiologia.* 2006;556(1):69–83.
20. Santos DN, Stevaux JC. Alterações de longa duração na dinâmica hidrossedimentar por extração de areia no alto curso do rio parana na região de porto rico, pr. *Geociencias.* 2010;29(4):603–12.
21. Descloux S, Datry T, Marmonier P. Benthic and hyporheic invertebrate assemblages along a gradient of increasing streambed colmation by fine sediment. *Aquat Sci.* 2013;75(4):493–507.
22. Layman CA, Boucek R, Hammerschlag-peyer CM. Applying stable isotopes to examine food-web structure: an overview of analytical tools - Layman - 2011 - Biological Reviews - Wiley Online Library. 2012;542–62. Available from: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-185X.2011.00208.x/abstract>

23. Voigt CC, Rex K, Michener RH, Speakman JR. Nutrient routing in omnivorous animals tracked by stable carbon isotopes in tissue and exhaled breath. *Oecologia*. 2008;157(1):31–40.
24. Phillips DL, Gregg JW. Source partitioning using stable isotopes: Coping with too many sources. *Oecologia*. 2003;136(2):261–9.
25. Medina NF, Herranz VM. Uso de isótopos estables en investigaciones en ecología. 2013;25–33.
26. Alcorlo Pagés P, Redondo Ortega R, Toledo Fernández J. Técnicas y aplicaciones multidisciplinares de los isótopos ambientales [Internet]. 2010. Available from: [http://www.recolecta.net/buscador/single\\_page.jsp?id=oai:digitool-uam.greendata.es:16567](http://www.recolecta.net/buscador/single_page.jsp?id=oai:digitool-uam.greendata.es:16567)
27. Peterson BJ, Fry B. Stable Isotopes in Ecosystem Studies Author (s): Bruce J. Peterson and Brian Fry Source : Annual Review of Ecology and Systematics , Vol . 18 ( 1987 ), pp . 293-320 Published by : Annual Reviews Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2097134> REFERENC. 2016;18(1987):293–320.
28. Grimm NB, Faeth SH, Golubiewski NE, Redman CL, Wu J, Bai X, et al. Global change and the ecology of cities. *Science* (80- ). 2008;319(5864):756–60.
29. Cooper MJ, Uzarski DG, Burton TM. Macroinvertebrate community composition in relation to anthropogenic disturbance, vegetation, and organic sediment depth in Four Lake Michigan drowned river-mouth wetlands. *Wetlands*. 2007;27(4):894–903.
30. De Lange HJ, De Jonge J, Den Besten PJ, Oosterbaan J, Peeters ETHM. Sediment pollution and predation affect structure and production of benthic macroinvertebrate communities in the Rhine-Meuse delta, The Netherlands. *J North Am Benthol Soc*. 2004;23(3):557–79.
31. Young RG, Matthaei CD, Townsend CR. Organic matter breakdown and ecosystem metabolism: Functional indicators for assessing river ecosystem health. *J North Am Benthol Soc*. 2008;27(3):605–25.
32. Chang CCY, McCormick P V, Newman S, Elliott EM. Isotopic indicators of environmental change in a subtropical wetland. *Ecol Indic*. 2009;9:825–36.
33. Koszelnik P, Gruca-Rokosz R. Determination of nitrate isotopic signature in waters of different sources by analysing the nitrogen and oxygen isotopic ratio. *Environ Sci Process Impacts* [Internet]. 2013;15(4):751. Available from: <http://xlink.rsc.org/?DOI=c3em30920g>
34. Parra Suárez S, Peiffer S, Gebauer G. Origin and fate of nitrate runoff in an agricultural catchment: Haean, South Korea – Comparison of two extremely different monsoon seasons. *Sci Total Environ*. 2019;648.
35. Di Lascio A, Rossi L, Carlino P, Calizza E, Rossi D, Costantini ML. Stable isotope variation in macroinvertebrates indicates anthropogenic disturbance along an urban stretch of the river Tiber (Rome, Italy). *Ecol Indic* [Internet]. 2013;28:107–14. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.04.006>
36. Zah R, Burgherr P, Bernasconi SM, Uehlinger U. Stable isotope analysis of macroinvertebrates and their food sources in a glacier stream. *Freshw Biol*. 2001;46(7):871–82.
37. Morrissey CA, Boldt A, Mapstone A, Newton J, Ormerod SJ. Stable isotopes as indicators of wastewater effects on the macroinvertebrates of urban rivers. *Hydrobiologia*. 2013;700(1):231–44.
38. Smucker NJ, Kuhn A, Cruz-quinones CJ, Serbst JR, Lake JL. Stable isotopes of algae and macroinvertebrates in streams respond to watershed urbanization , inform management goals , and indicate food web relationships. *Ecol Indic* [Internet]. 2018;90(March):295–304. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.024>
39. Bearhop S, Furness RW, Hilton GH, Votier SC, Waldron S. A forensic approach to understanding diet and habitat use from stable isotope analysis of (avian) claw material. *Functional Ecology*. 2003.
40. Layman CA, Arrington DA, Montaña CG, Post DM. Can Stable Isotope ratios provide for community-wide measures of Trophic Structure? *Ecology*. 2007;88(1):42–8.
41. Willson JD, Winne CT, Pilgrim MA, Romanek CS, Gibbons JW. Seasonal variation in terrestrial resource subsidies influences trophic niche width and overlap in two aquatic snake species : a stable isotope approach. *Synth Ecol OIKOS*. 2010;119(7):1161–71.
42. Piscart C, Roussel J-M, Dick J, Grosbois G, Marmonier P. Effects of coexistence on habitat use and trophic ecology of interacting native and invasive amphipods. *Freshw Biol*. 2011;56:325–34.

43. Park J-H, Duan L, Kim B, Mitchell MJ, Shibata H. Potential effects of climate change and variability on watershed biogeochemical processes and water quality in Northeast Asia. *Environ Int* [Internet]. 2010;36(2):212–25. Available from: [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412009002141%5Chttp://ac.els-cdn.com/S0160412009002141/1-s2.0-S0160412009002141-main.pdf?\\_tid=ec5612cc-dcbb-11e4-90cd-00000aab0f02&acdnat=1428366221\\_f8d0b47e3b5cee6bae618c83cef6b764](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412009002141%5Chttp://ac.els-cdn.com/S0160412009002141/1-s2.0-S0160412009002141-main.pdf?_tid=ec5612cc-dcbb-11e4-90cd-00000aab0f02&acdnat=1428366221_f8d0b47e3b5cee6bae618c83cef6b764)
44. Huber B, Bernasconi SM, Pannatier EG, Luster J. A simple method for the removal of dissolved organic matter and d15N analysis of NO<sub>3</sub>-from freshwater. *Rapid Commun Mass Spectrom*. 2012;26(12):1475–80.
45. Bidartondo MI, Burghardt B, Gebauer G, Bruns TD, Read DJ. Changing partners in the dark: isotopic and molecular evidence of ectomycorrhizal liaisons between forest orchids and trees. *Proc R Soc B*. 2004;271(1550).
46. Gebauer G, Preiss K, Gebauer AC. Partial mycoheterotrophy is more widespread among orchids than previously assumed. *New Phytol*. 2016;211(1):11–5.



## G. ANEXOS

---

### Planilla de anexos del Proyecto

```
[[  
"title":"Anexo_macroinvertebrados","comment":"","size":"95.601","name":"Anexos%20Proyectos_macroinvertebrados.xlsx","filename":"fu_xcghwqdb8zkgr3","ext":"xlsx" ]]
```

*Número de Archivos: 1*

### **Documentación adicional**

*Número de archivos: 0*



---

**DIRECTOR DEL PROYECTO: PICCIITT19-52  
MARJORIE JAZMIN SALAZAR ORELLANA**



---

**Ing. Javier Cabrera Mejía, PhD.  
JEFE DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN**