

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

**Modelamiento de la tasa de descarga de Nitrógeno y Fósforo  
mediante el uso del software InVEST, en la microcuenca  
Nuñoa, Puno**

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de  
Bachiller en Ingeniería Ambiental

**Autor:**

Edith Silvana Huamani Cordova

**Asesor:**

Dr. Efraín Lujano Laura

Juliaca, diciembre de 2020

# DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

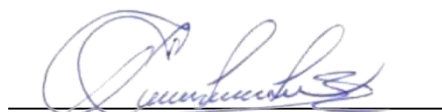
Dr. Efraín Lujano Laura, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulada: **“MODELAMIENTO DE LA TASA DE DESCARGA DE NITRÓGENO Y FÓSFORO MEDIANTE EL USO DEL SOFTWARE INVEST, EN LA MICROCUENCA NUÑO A, PUNO”** constituye la memoria que presenta la estudiante Edith Silvana Huamani Cordova para obtener el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 23 días del mes de diciembre del año 2020.



Dr. Efraín Lujano Laura  
Asesor

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 22 día(s) del mes de Diciembre del año 2022 siendo las 8:30 horas

se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Juliaca, bajo la dirección del (de la)

presidente(a): Msc. Rose Adelina Gallata Chura el(a)

secretario(a): Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani y los demás miembros

Msc. Jael Galla Galla

y el(la) asesor(a) Dr. Efraín Lujano Laura

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de

investigación titulado: Modelamiento de la tasa de descarga de Nitrógeno y Fósforo mediante el uso del software INVEST, en la microcuenca Nuñoa, Puno

de los (las) egresados (as): a) Edith Silvana Huamani Lordora

b)

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en

Ingeniería Ambiental  
(Determinación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando a la candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por la candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Edith Silvana Huamani Lordora

| CALIFICACIÓN    | ESCALAS   |          |              | Mérito           |
|-----------------|-----------|----------|--------------|------------------|
|                 | Vigesimal | Literal  | Cualitativa  |                  |
| <u>Aprobado</u> | <u>16</u> | <u>B</u> | <u>Buena</u> | <u>Muy Buena</u> |

Candidato/a (b):

| CALIFICACIÓN | ESCALAS   |         |             | Mérito |
|--------------|-----------|---------|-------------|--------|
|              | Vigesimal | Literal | Cualitativa |        |
|              |           |         |             |        |

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó a la candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente/a

[Firma]  
Secretario/a

\_\_\_\_\_  
Asesor/a

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (a)

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)

# Modelamiento de la tasa de descarga de Nitrógeno y Fósforo mediante el uso del software InVEST, en la microcuenca Nuñoa, Puno

Edith Silvana Huamani Cordova <sup>a1</sup>, Efraín Lujano Laura <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

---

## Resumen

La contaminación de ríos y lagos por eutrofización, depende de la cantidad de nutrientes presentes en los cuerpos de agua. Objetivo: evaluar la estimación de la tasa de descarga de nitrógeno y fósforo en la microcuenca Nuñoa. Metodología: recopilación de información bibliográfica y páginas web, obteniéndose las siguientes variables: carga de nutrientes, uso de suelo (GeoServidor de MINAM), precipitación (Worldclim), datos recopilados actualizados hasta el año 2019. Así mismo, se utilizó una base de datos espaciales: modelo de elevación digital (DEM) para obtener información de las características del lugar. Los datos obtenidos se procesaron en el software InVEST (desarrollado por Natural Capital Project) para el modelamiento de la tasa de descarga de nutrientes (NDR). Resultados: se obtiene una recarga inicial de 843 590.66 kg/año de nitrógeno y 316 974.2 kg/año de fósforo en la microcuenca Nuñoa en las áreas de cultivo, así mismo se infiltraron en el suelo, llegando al cuerpo receptor una tasa de descarga de Nitrógeno de 66 670.7 kg/año de nitrógeno y 36 051.1 kg/año de fósforo. Conclusión: Por la presencia de abono orgánico en cultivos, estiércol de ovino y vacuno que contribuyen en la escorrentía concentraciones de nitrógeno y fósforo en áreas de cultivo, generando infiltraciones al suelo, así mismo, contribuye en la concentración de nutrientes en el cuerpo receptor.

*Palabras clave:* Abono orgánico; carga de nutrientes; cuerpo receptor; InVEST.

---

## Abstract

The contamination of rivers and lakes by eutrophication depends on the amount of nutrients present in the bodies of water. Objective: to evaluate the estimation of nitrogen and phosphorus discharge rate in the Nuñoa micro-basin. Methodology: collection of bibliographic information and web pages, obtaining the following variables: nutrient loading and soil utilization (MINAM GeoServer), precipitation (Worldclim), data collected updated until 2019. In the same way, a database of spatial data was used: digital elevation model (DEM) to obtain information on the characteristics of the area. The data obtained were processed in the InVEST software (developed by Natural Capital Project) for the modeling of the nutrient discharge rate (NDR). Results: an initial reloading of 843 590.66 kg/year of nitrogen and 316 974.2 kg/year of phosphorus is obtained in the cultivation areas of the Nuñoa micro-basin. The soil was infiltrated, reaching the receiving waters with a discharge rate of 66 670.7 kg/year of nitrogen and 36 051.1 kg/year of phosphorus. Conclusion: Due to the presence of organic fertilizer in crops, ovine and bovine manure, that contribute to the runoff concentrations of nitrogen and phosphorus in cultivation areas, generating infiltrations to the soil; as well as contributing to the concentration of nutrients in the receiving waters.

*Keywords:* InVEST; nutrient loading; organic fertilizer; Receiving waters.

---

<sup>1</sup> Autor de correspondencia: Edith Silvana Huamani Cordova  
Km. 7 Salida Arequipa, Juliaca, Puno  
Tel.: 964817039  
E-mail: edith.huamani@upeu.edu.pe

## 1. Introducción

La presencia de nitrógeno y fósforo en nuestro medio, es de manera natural e indispensable, sin embargo, se convirtieron de ser nutrientes a ser contaminantes, por la alteración de las cantidades presentes en cuerpos de agua, además, esta alteración favorece el proceso de eutrofización (el crecimiento de algas en grandes cantidades), estas pueden dificultar la fotosíntesis de especies de aguas más profundas, la pérdida de oxígeno y por este motivo, la muerte de especies acuáticas (Downing & McCauley, 1992). Por otro lado, también tiene repercusiones en la salud de las personas, logrando asfixia y enfermedades respiratorias (Ledesma et al., 2013).

La alteración de las cantidades de nitrógeno y fósforo, provocan una disminución en la calidad del agua, las causas frecuentes son las actividades humanas, que requieren el uso de productos nitrogenados y fosforados como: detergentes, fertilizantes, productos industriales, entre otros. Puesto que, después de su aplicación, el exceso es arrastrados por escorrentía a ríos, lagos y aguas subterráneas (Carpenter, Caraco, & Correll, 1998). Sin embargo, la actividad más frecuente y con mayor probabilidad de afectación, es el uso de abono orgánico para la agricultura.

Por este motivo, se desea realizar una estimación de la cantidad de nitrógeno y fósforo en el agua, provocado por el abono orgánico. Para lograr este objetivo, es posible utilizar un análisis de los servicios ecosistémicos, obteniendo un modelamiento de las cantidades de nutrientes (N y P), descargadas en la zona de estudio.

El modelamiento desarrollado por el software InVEST (Evaluación Integrada de Servicios Ecosistémicos y Compensaciones), es un modelo que realiza la Evaluación de los servicios ecosistémicos, siendo este muy importante para evaluar la pérdida continua y monitorear los cambios que se generan en los servicios ecosistémicos (Balvanera, et al., 2001).

Las variables necesarias para determinar la carga de nitrógeno y fósforo son: Uso de suelo, Carga de nutrientes y precipitación promedio.

El uso de suelo es muy importante para realizar este estudio, debido a la actividad agropecuaria que es la fuente principal de los nutrientes que luego de su aplicación en cultivos, son arrastrados a los cuerpos de agua, sobre todo, cuando el abono o fertilizante se deposita en el suelo a la intemperie (Dupas et al., 2014). Por otro lado, la carga de nutrientes, que según (NatCap, 2019), pueden expresarse como la cantidad de nutrientes que es aplicado al suelo o cultivo, pueden ser fertilizantes o residuos de ganado.

Y finalmente, la precipitación influye directamente en la descarga de nutrientes en las fuentes de agua, debido a que a partir de la precipitación se genera escorrentía en ciertos tipos de suelo, provocando el transporte de nutrientes hacia cuerpos de agua (Thompson & Troeh, 1988).

En una investigación procedente de Cuba, se realizó un estudio el cual determinó la composición de Nitrógeno y Fósforo en los Golfos de Guacanayabo y Batabanó, para llegar a tal objetivo se efectuaron dos muestreos, donde los resultados obtenidos fueron altas concentraciones de Nitrógeno inorgánico y en ambos casos se hace relación con los aportes de los ríos, aportes fluviales, descarga de aguas subterráneas y el vertimiento de aguas residuales. Sin embargo, se enfatiza la precipitación como el factor principal de estos niveles altos de nutrientes (Montalvo et al., 2010).

De igual importancia, en un estudio realizado en China, se analizó tres tipos de servicios ecosistémicos con el software InVEST, incluyendo el modelo de la Tasa de Descarga de Nutrientes (NDR) en la cuenca de Baiyangdian, donde sostiene que en el año 2007 la retención de N y P por parte del suelo fue baja, ocasionando el transporte de estos hacia la fuente de agua. Según el estudio el causante que resaltó fue la producción agrícola, exportando 9 650 000 de kg de Nitrógeno y 650 000 de kg de Fósforo (Bai et al, 2012).

La provincia de Melgar, es conocida por tener como actividades principales; la ganadería y la agricultura, siendo la mayor fuente de ingreso económico. En el distrito de Nuñoa, el 70% de su población se dedica a estas actividades (Los Andes, 2011).

En la actualidad, la ganadería se desarrolla en base a la siembra de pastos como trébol, reygras, alfalfa y también cultivos de avena y cebada (Tapia, 2018). Sin embargo, estos cultivos podrían ser un riesgo, por las cantidades de abono que utilizan, alterando la cantidad de nutrientes aportadas, al suelo y principalmente al agua mediante escorrentía.

El objetivo del presente estudio es realizar la estimación de la tasa de descarga de Nitrógeno y Fosforo mediante modelamiento, utilizando el software InVEST, en la microcuenca de Nuñoa, provincia de Melgar, Puno.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Localización

El lugar de estudio se desarrolló en la microcuenca de Nuñoa, la cual está ubicada en el distrito de Nuñoa, provincia de Melgar en el departamento de Puno, con un área de 2763 km<sup>2</sup> obteniendo un perímetro de 325 Km, la microcuenca de Nuñoa tiene como final en el cerro Sapansalla y como la parte más baja es la unión con el río Azángaro, llegando a conformar el río Ramis. Las coordenadas son Este de 285818 a 361549 y Norte de 8353229 a 8443335 (INRENA, 2008).

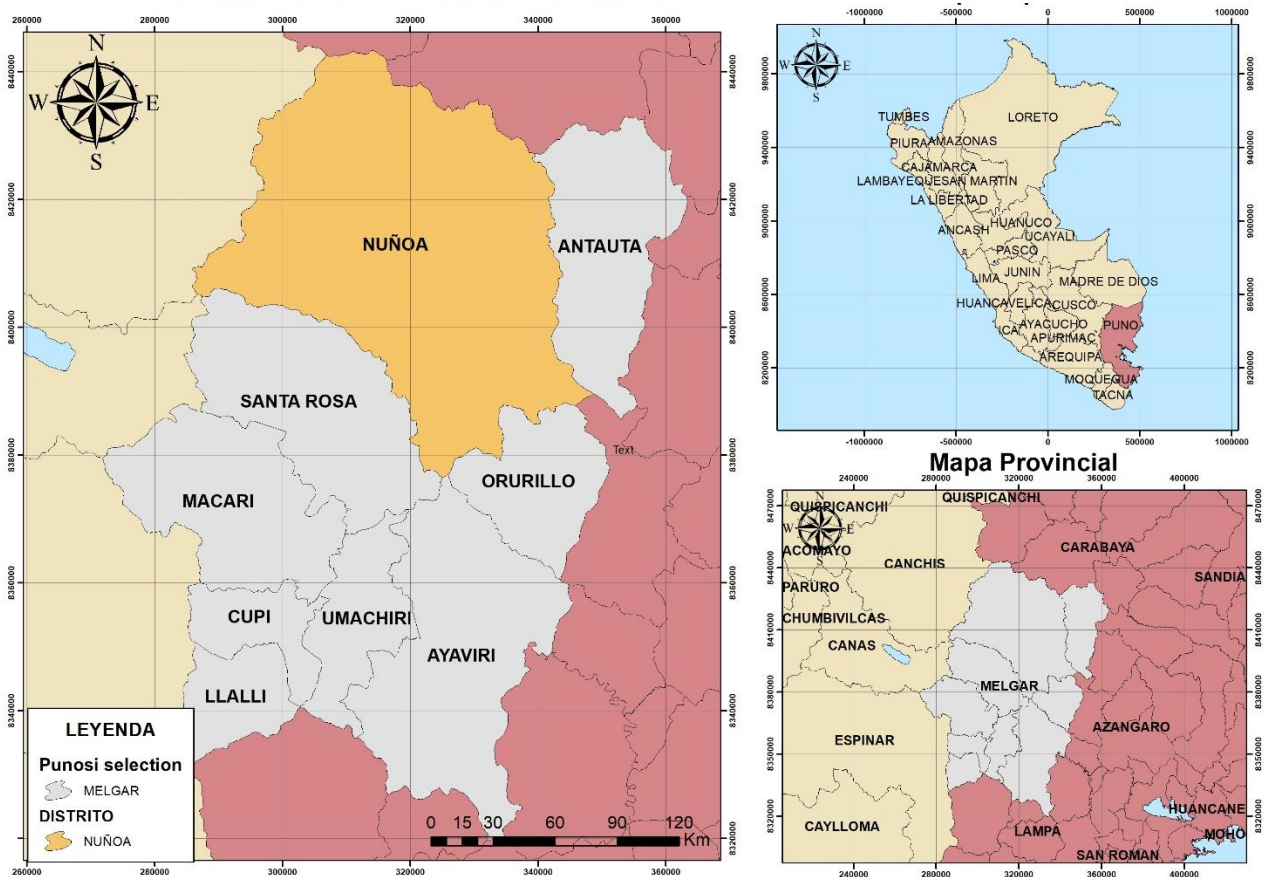


Figura 1. Ubicación de la microcuenca Nuñoa.

El lugar de estudio abarca un área total de 2200,16 km<sup>2</sup> y en el último registro en el año 2017 se tenía una población de 11 121 habitantes y una densidad poblacional de 5,1 personas por km<sup>2</sup> (Barrios et al., 2011).

La agricultura en el distrito de Nuñoa está basada en el cultivo de papa, cebada y trigo (Tabla N°1), sin embargo, este distrito también realiza actividades de crianza de animales como ovinos, camélidos, cuyes, aves y vacunos, por lo cual, para alimentarlos se necesita el cultivo de pastos forrajeros, trébol y alfalfa (Turpo, 2017).

**Tabla 1.**  
**Rendimiento aproximado de la producción de cultivos.**

| Cultivo | Rendimiento (kg/ha) |
|---------|---------------------|
| Papa    | 4000                |
| Haba    | 1000                |
| Trigo   | 850                 |
| Cebada  | 800                 |

Fuente: (Turpo, 2017).

## 2.2. Actividad Pecuaria

La provincia de Melgar se caracteriza por promover el potencial ganadero, y el distrito de Nuñoa no es ajeno a esto, puesto que, cada año se realiza ferias agropecuarias, donde un gran número de productores agropecuarios participan.

Así mismo, en el distrito de Nuñoa 36 productores alpaqueros, 20 productores de vacunos, 7 productores ovinos. En total se considera que en el distrito de Nuñoa se registran 25 200 cabezas de ganado entre ovejas, ovinos, alpacas y llamas, abarcando los 21 sectores (DRA-P, 2019).

En la actualidad la alimentación del ganado se desenvuelve a partir de pastos naturales como grama, layo, sillu sillu y generalmente por ichu y chilliguar, sin embargo, estos no abastecerían los niveles proteicos que necesita el animal, por lo tanto, se complementa su alimentación con el aprovechamiento de residuos de siembra (cultivos de avena y cebada), pastos cultivados (trébol, reygras, alfalfa).

Así mismo, específicamente en el sector de Diego Tarapa se realizó una campaña de sanidad animal y protección de la capacidad nutricional frente a heladas, atendiendo un total de 1231 cabezas de ganado (MINAGRI, 2018).

## 2.3. Metodología

La metodología utilizada es mediante el modelo de la tasa de descarga de nutrientes, desarrollado por el software InVEST, creado por el Proyecto Capital Natural (NatCap). Este modelo utiliza un enfoque de balance de masa simple, que describe el movimiento de una masa de nutrientes a través del espacio.

Las fuentes de nutrientes o cargas de nutrientes, se determinan en función al mapa de uso de suelo las tasas de cargas que se detallaron en las tablas biofísicas, estas cargas se dividen en dos, las que se transportan mediante flujo superficial y otras en flujo subsuperficial, las dos hasta llegar al cauce.

Seguidamente, los resultados de descarga se calculan para cada píxel en función a sus propiedades (pendiente, eficiencia de retención del uso de suelo) y finalmente, la exportación de nutrientes se calcula como la suma de las contribuciones a nivel de cada píxel.

Sin embargo, estos datos de salida deben ser comparados con valores referenciales que son suministrados por el método utilizado, estos son detallados en la siguiente tabla:

**Tabla 2.**  
*Valores referenciales de descargas anuales de nutrientes.*

| Nutrientes | Descarga promedio anual |            | Media |        |
|------------|-------------------------|------------|-------|--------|
|            | g                       | Kg/año     | g     | Kg/año |
| Fósforo    | 800 - 1800              | 9.6 – 21.6 | 1200  | 14.4   |
| Nitrógeno  | 300 - 3800              | 3.6-45.6   | 3400  | 40.8   |

Fuente: (Jorgensen & Vollenweider, 1988).

#### 2.4. Recopilación de datos

El modelo de tasa de descarga de nutrientes que desarrolla el software InVEST, utiliza los siguientes datos: El modelo digital de elevación DEM, uso de suelo, escorrentía de nutrientes o precipitación anual, la microcuenca delimitada y dos tablas biofísicas de Nitrógeno y Fósforo, con la información requerida según las clases de uso de suelo.

Estos datos se procesan de manera individual, antes de ser ingresados al modelo (NDR), por lo tanto, fueron delimitados y reclasificados cada uno en Arc Gis y convertidos al formato, según lo requiere el formato.

**Tabla 3.**  
*Características de los datos necesarios para el procesamiento.*

| Datos Necesarios                                | Formato | Fuente  |
|---|---------|---|
| Modelo Digital de Elevación (DEM)               | Ráster  | (USGS, 2020)  |
| Uso de Suelo                                    | Ráster  | (MINAM, 2020)   |
| Escorrentía de Nutrientes – Precipitación Anual | Ráster  | (Worldclim, 2020)   |
| Microcuenca delimitada de Nuñoa                 | Vector  | (MINEDU, 2020)  |
| Tabla Biofísica                                 | Excel   | (NatCap, 2019) (Iglesias, 2001)<br>(Hogares Juveniles Campesinos, 2001) |

Fuente: Elaboración propia.



### 2.4.1. Uso de suelo

El uso de suelo permite que el modelo pueda reconocer las actividades que se realizan en un determinado pixel, y así desarrollar el procesamiento de los datos. En el siguiente mapa, se observan la clasificación de uso de suelo en Nuñoa.

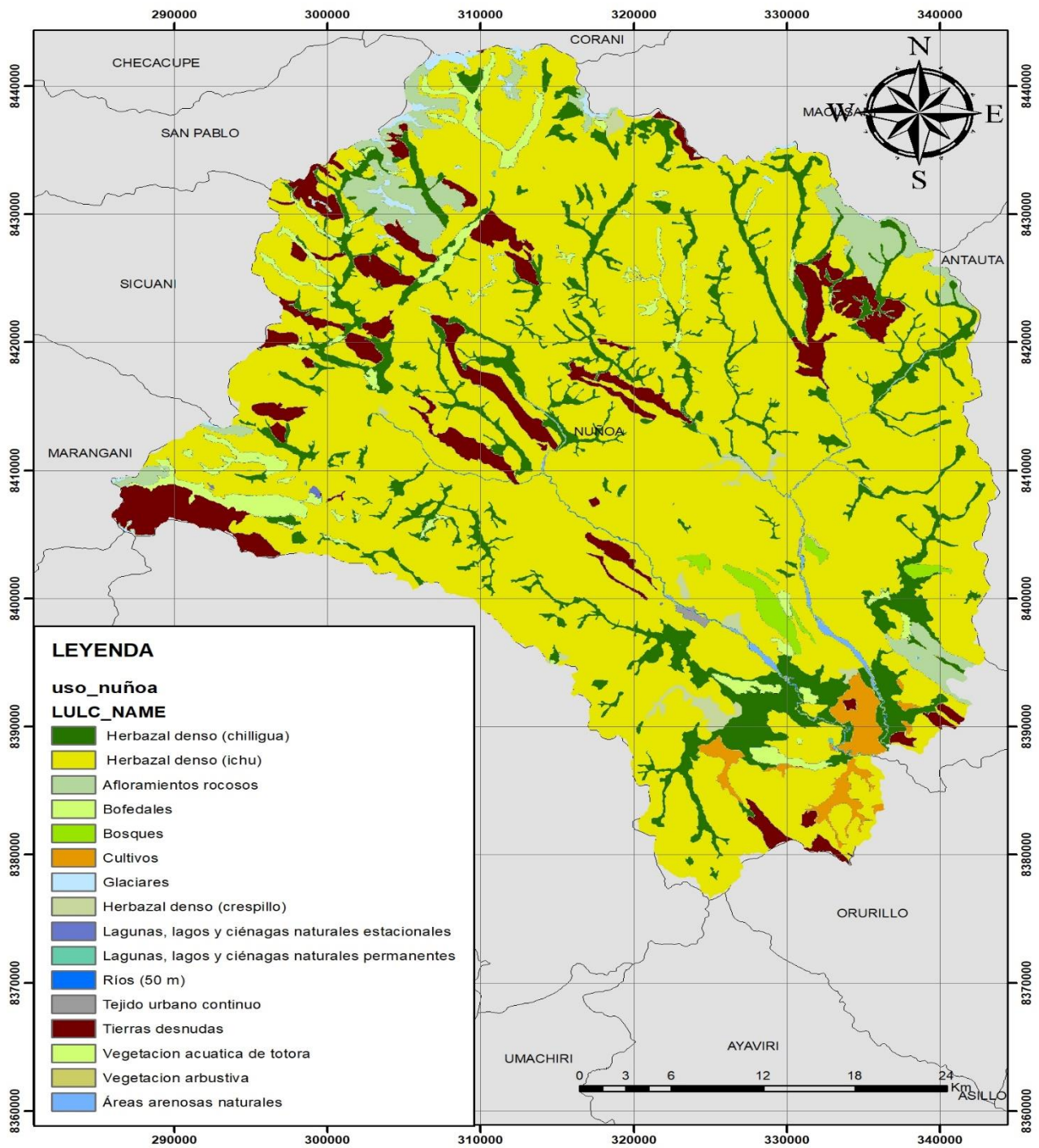


Figura 2. Mapa de uso de suelo de Nuñoa.

### 2.4.2. Escorrentía de nutrientes - Precipitación Anual

La escorrentía de nutrientes o precipitación anual, representa la capacidad de transportar los nutrientes aguas abajo, también se puede definir como índice de flujo rápido. El modelo normalizará el ráster de precipitación para calcular el índice de escorrentía.

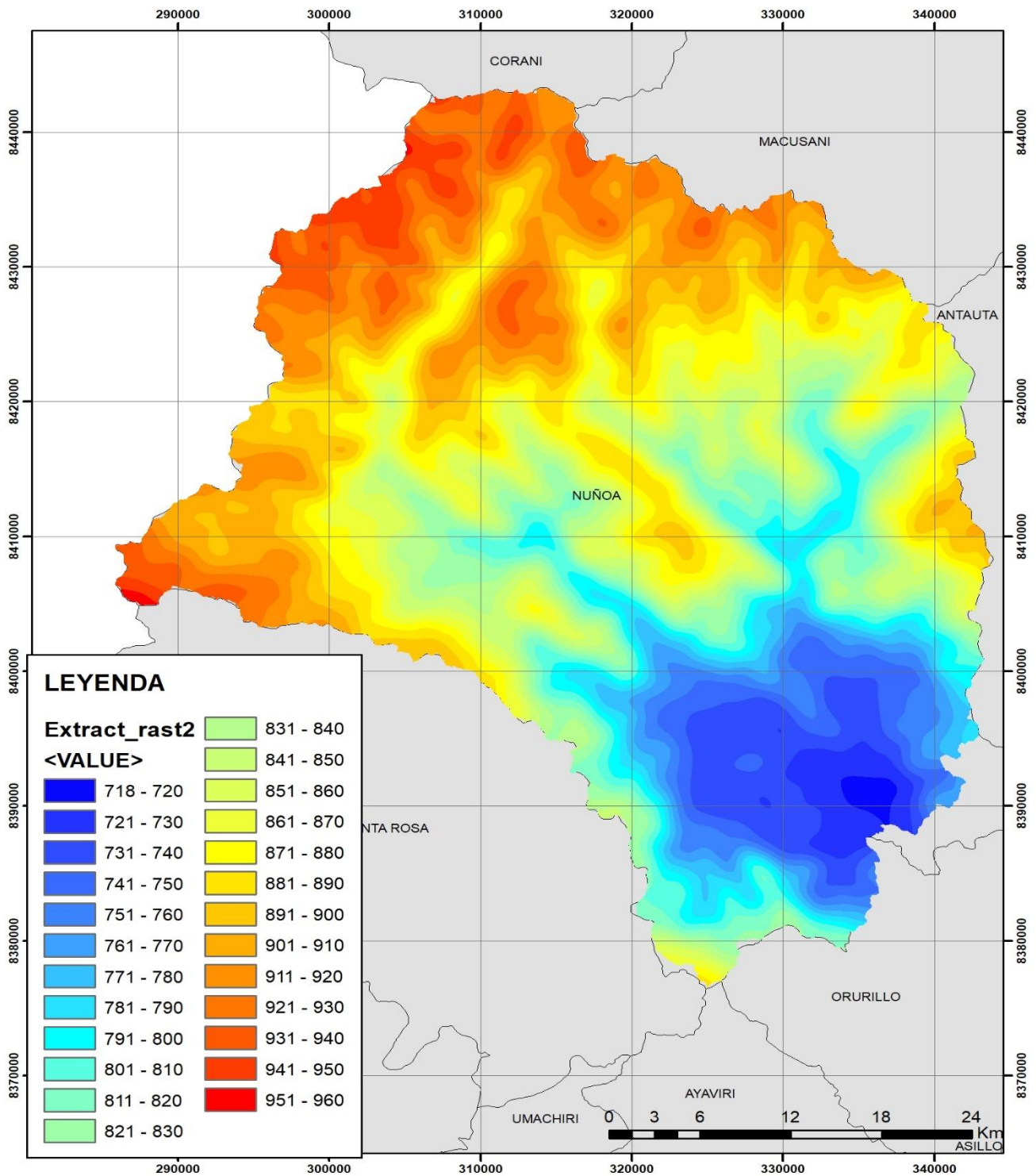


Figura 3. Mapa de precipitación anual.

### 2.4.3. Tablas Biofísicas

Las tablas biofísicas contienen información, que debe ser contrastada con el ráster de uso de suelo y los datos necesitan un 100% de coincidencia. El formato requerido es .csv (valor separado por comas), a continuación, se muestran los datos que fueron utilizados, para la elaboración de la tabla biofísica de Nitrógeno (N) y Fósforo (P).

**Tabla 4.**  
**Tabla Biofísica de Nitrógeno (N).**

| Valor <sup>1</sup> | Uso de suelo          | Factor c <sup>2</sup> | Factor p <sup>3</sup> | Recarga de nitrógeno <sup>4</sup> | Eficiencia de nitrógeno <sup>5</sup> | Distancia de retención <sup>6</sup> | Profundidad de raíces <sup>7</sup> | Coefficiente de evapotranspiración <sup>8</sup> | Proporción de nitrógeno <sup>9</sup> |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|--------------------------------------|
| 1                  | Afloramientos rocosos | 0.99                  | 1                     | 1.5                               | 0.05                                 | 10                                  | 0.5                                | 0.15  | 0                                    |
| 2                  | Áreas arenosas        | 0.99                  | 1                     | 1.5                               | 0.05                                 | 10                                  | 0.5                                | 0.15  | 0                                    |
| 3                  | Bosques               | 0.025                 | 1                     | 0.36                              | 0.67                                 | 20                                  | 3500                               | 1.008   | 1                                    |
| 4                  | Cultivos              | 0.412                 | 1                     | 116                               | 0.5                                  | 25                                  | 600                                | 1.1   | 1                                    |
| 5                  | Glaciares             | 0.99                  | 1                     | 1.5                               | 0.05                                 | 10                                  | 0.5                                | 0.15  | 0                                    |
| 6                  | Herbazal denso        | 0.034                 | 1                     | 6.5                               | 0.75                                 | 150                                 | 2000                               | 0.865   | 1                                    |
| 7                  | Herbazal denso        | 0.034                 | 1                     | 6.5                               | 0.75                                 | 150                                 | 2000                               | 0.865   | 1                                    |
| 8                  | Herbazal denso        | 0.034                 | 1                     | 6.5                               | 0.75                                 | 150                                 | 2000                               | 0.865   | 1                                    |
| 9                  | Lagunas permanentes   | 0                     | 1                     | 1                                 | 0.4                                  | 15                                  | 10                                 | 1.05  | 0                                    |
| 10                 | Lagunas estacionarias | 0                     | 1                     | 1                                 | 0.4                                  | 15                                  | 10                                 | 1.05  | 0                                    |
| 11                 | Ríos                  | 0                     | 1                     | 1                                 | 0.4                                  | 15                                  | 10                                 | 1.05  | 0                                    |
| 12                 | Tejido urbano         | 0.99                  | 1                     | 1.5                               | 0.05                                 | 10                                  | 0.5                                | 0.15  | 0                                    |
| 13                 | Tierras desnudas      | 0.99                  | 1                     | 1.5                               | 0.05                                 | 10                                  | 0.5                                | 0.15  | 0                                    |
| 14                 | Bofedales             | 0.121                 | 0.6                   | 2.48                              | 0.54                                 | 15                                  | 3500                               | 1.008   | 1                                    |
| 15                 | Vegetación acuática   | 0                     | 1                     | 0                                 | 0.4                                  | 15                                  | 10                                 | 1.05  | 0                                    |
| 16                 | Vegetación arbustiva  | 0                     | 1                     | 0                                 | 0.4                                  | 15                                  | 10                                 | 1.05  | 0                                    |

Fuente: (NatCap, 2019); (Hogares Juveniles Campesinos, 2001); (Iglesias, 2001).

<sup>1</sup>Valor único para cada clase de suelo.

<sup>2</sup>Factor de gestión de cobertura, valor entre 0 y 1.

<sup>3</sup>Factor de práctica de soporte, valor entre 0 y 1.

<sup>4</sup>Carga de nitrógeno, cantidad de nitrógeno aplicado en abonos orgánicos (kg.ha/año).

<sup>5</sup>Eficiencia de retención máxima para cada clase de suelo, valor entre 0 y 1.

<sup>6</sup>Distancia en la que una clase de suelo en particular retiene el nitrógeno, expresado en m.

<sup>7</sup>Profundidad de la capa de restricción de las raíces, expresado en mm.

<sup>8</sup>Coefficiente de evapotranspiración, valor entre 0 y 1.5.

<sup>9</sup>Proporción de nitrógeno disuelto sobre la cantidad total de nutrientes, valor entre 0 y 1.

**Tabla 5.**  
**Tabla Biofísica de Fósforo (P).**

| Valor <sup>1</sup> | Descripción           | Factor c <sup>2</sup> | Factor p <sup>3</sup> | Recarga de fósforo <sup>4</sup> | Eficiencia de fósforo <sup>5</sup> | Distancia de retención <sup>6</sup> | Profundidad de raíces <sup>7</sup> | Coefficiente de evapotranspiración <sup>8</sup> | Proporción de fósforo <sup>9</sup> |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|------------------------------------|
| 1                  | Afloramientos rocosos | 0.99                  | 1                     | 0.79                            | 0.26                               | 15                                  | 500                                | 0.15  | 0                                  |
| 2                  | Áreas arenosas        | 0.99                  | 1                     | 0.79                            | 0.26                               | 15                                  | 500                                | 0.15  | 0                                  |
| 3                  | Bosques               | 0.025                 | 1                     | 0.36                            | 0.67                               | 20                                  | 3500                               | 1.008   | 1                                  |
| 4                  | Cultivos              | 0.412                 | 1                     | 33                              | 0.5                                | 15                                  | 700                                | 1.1   | 1                                  |
| 5                  | Glaciares             | 0.025                 | 1                     | 0.36                            | 0.67                               | 20                                  | 500                                | 1.008   | 1                                  |
| 6                  | Herbazal denso        | 0.034                 | 1                     | 0.93                            | 0.6                                | 30                                  | 1000                               | 0.865   | 1                                  |
| 7                  | Herbazal denso        | 0.034                 | 1                     | 0.93                            | 0.6                                | 30                                  | 1000                               | 0.865   | 1                                  |
| 8                  | Herbazal denso        | 0.034                 | 1                     | 0.93                            | 0.6                                | 30                                  | 1000                               | 0.865   | 1                                  |
| 9                  | Lagunas permanentes   | 0                     | 1                     | 1                               | 0.4                                | 15                                  | 10                                 | 1.05  | 0                                  |
| 10                 | Lagunas estacionales  | 0                     | 1                     | 1                               | 0.4                                | 15                                  | 10                                 | 1.05  | 0                                  |
| 11                 | Ríos                  | 0                     | 1                     | 1                               | 0.4                                | 15                                  | 10                                 | 1.05  | 0                                  |
| 12                 | Tejido urbano         | 0.99                  | 1                     | 2.1                             | 0.26                               | 15                                  | 0                                  | 0.2   | 0                                  |
| 13                 | Tierras desnudas      | 1                     | 1                     | 3.81                            | 0.48                               | 15                                  | 500                                | 0.15  | 0                                  |
| 14                 | Bofedales             | 0.121                 | 0.6                   | 2.48                            | 0.54                               | 15                                  | 1500                               | 1.008   | 1                                  |
| 15                 | Vegetación acuática   | 0                     | 1                     | 0                               | 0.4                                | 15                                  | 10                                 | 1.05  | 0                                  |
| 16                 | Vegetación arbustiva  | 0                     | 1                     | 0                               | 0.4                                | 15                                  | 10                                 | 1.05  | 0                                  |

Fuente: (NatCap, 2019); (Hogares Juveniles Campesinos, 2001); (Iglesias, 2001).

<sup>1</sup>Valor único para cada clase de suelo.

<sup>2</sup>Factor de gestión de cobertura, valor entre 0 y 1.

<sup>3</sup>Factor de práctica de soporte, valor entre 0 y 1.

<sup>4</sup>Carga de fósforo, cantidad de fósforo aplicado en abonos orgánicos (kg.ha/año).

<sup>5</sup>Eficiencia de retención máxima para cada clase de suelo, valor entre 0 y 1.

<sup>6</sup>Distancia en la que una clase de suelo en particular retiene el fósforo, expresado en m.

<sup>7</sup>Profundidad de la capa de restricción de las raíces, expresado en mm.

<sup>8</sup>Coefficiente de evapotranspiración, valor entre 0 y 1.5.

<sup>9</sup>Proporción de fósforo disuelto sobre la cantidad total de nutrientes, valor entre 0 y 1.

En la tabla N°3 y N°4 se detallan los datos que fueron ingresados en la tabla biofísica para nitrógeno y fósforo respectivamente, estos datos se basaron específicamente en abono orgánico (desechos de oveja o vaca) aplicado a cultivos de papa, cebada y trigo, sin embargo, según los agricultores también se utiliza úrea y en ocasiones algunos insecticidas (Huayta, 2020).

## 2.5. Procesamiento de datos

Para el procesamiento, se ingresaron todos los datos en el software InVEST en los campos requeridos por el programa, así mismo se seleccionó la carpeta de salida y se ingresó las constantes según el manual de InVEST; umbral de acumulación de flujo, parámetro K de Borsselli, longitud crítica del subsuelo y eficiencia máxima de retención del subsuelo de nitrógeno (NatCap, 2019).

### 3. Resultados y Discusión

El procesamiento de datos, produjo resultados de la tasa de recarga al suelo de Nitrógeno y Fósforo y sus respectivos mapas de modelamiento.

#### 3.1. Tasa de recarga al suelo de nitrógeno y fósforo.

Los resultados obtenidos fueron: recarga de nutrientes por cada clase de uso de suelo, infiltración a lo largo de la microcuenca y recepción de nutrientes en el cuerpo receptor. El resultado final de tasa de descarga se comparó con los valores referenciales, según la metodología y se puede observar un exceso de estos nutrientes, aproximadamente en 66,656.3 kg de nitrógeno y 36,010.3 kg de fósforo.

**Tabla 6.**  
*Resultados de la estimación de la recarga, infiltración y tasa de descarga de nutrientes.*

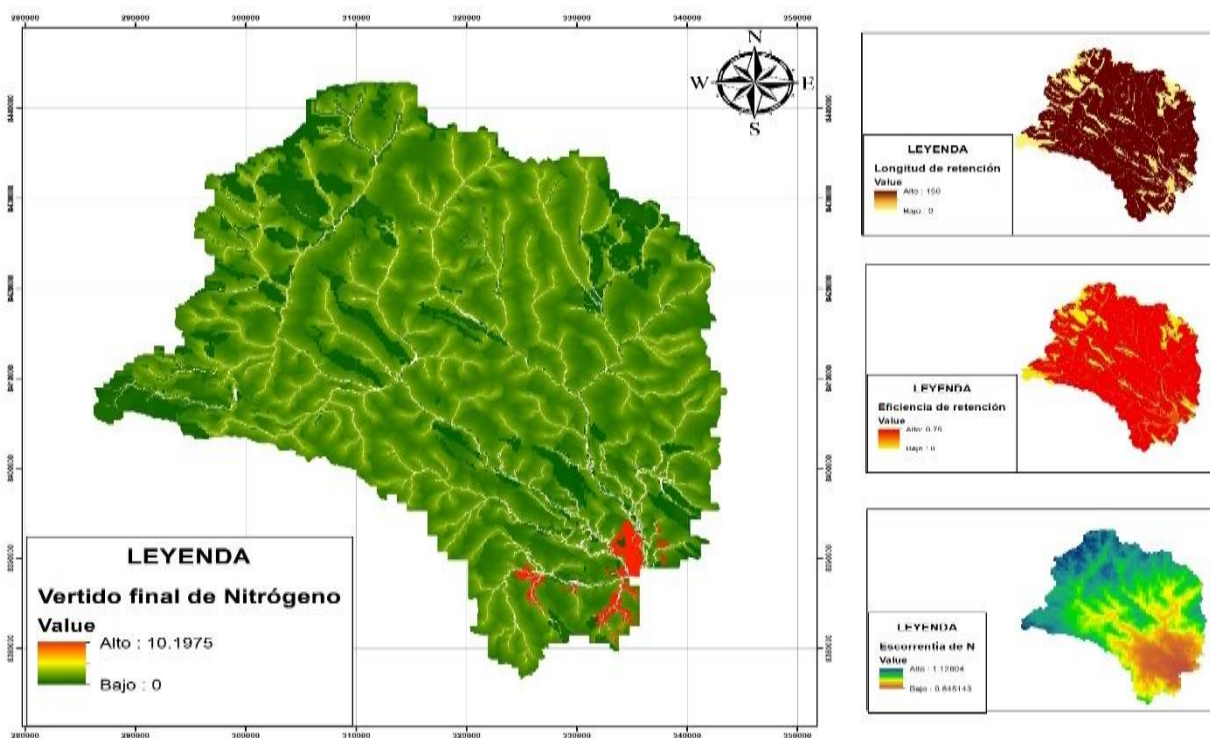
| Nutrientes | Recarga inicial (kg/año) | Infiltración a lo largo de la microcuenca (kg/año) | Tasa de descarga en el cuerpo receptor (kg/año) | Valores referenciales de descargas (kg/año) |
|------------|--------------------------|--|---|---|
| Nitrógeno  | 843 590.66               | 776 919.96   | 66 670.7  | 14.4  |
| Fósforo    | 316 974.2                | 280 923.1  | 36 051.10                                       | 40.8  |

1. Fuente: InVEST.

#### 3.2. Mapas del modelamiento de la tasa de descarga de nitrógeno y fósforo.

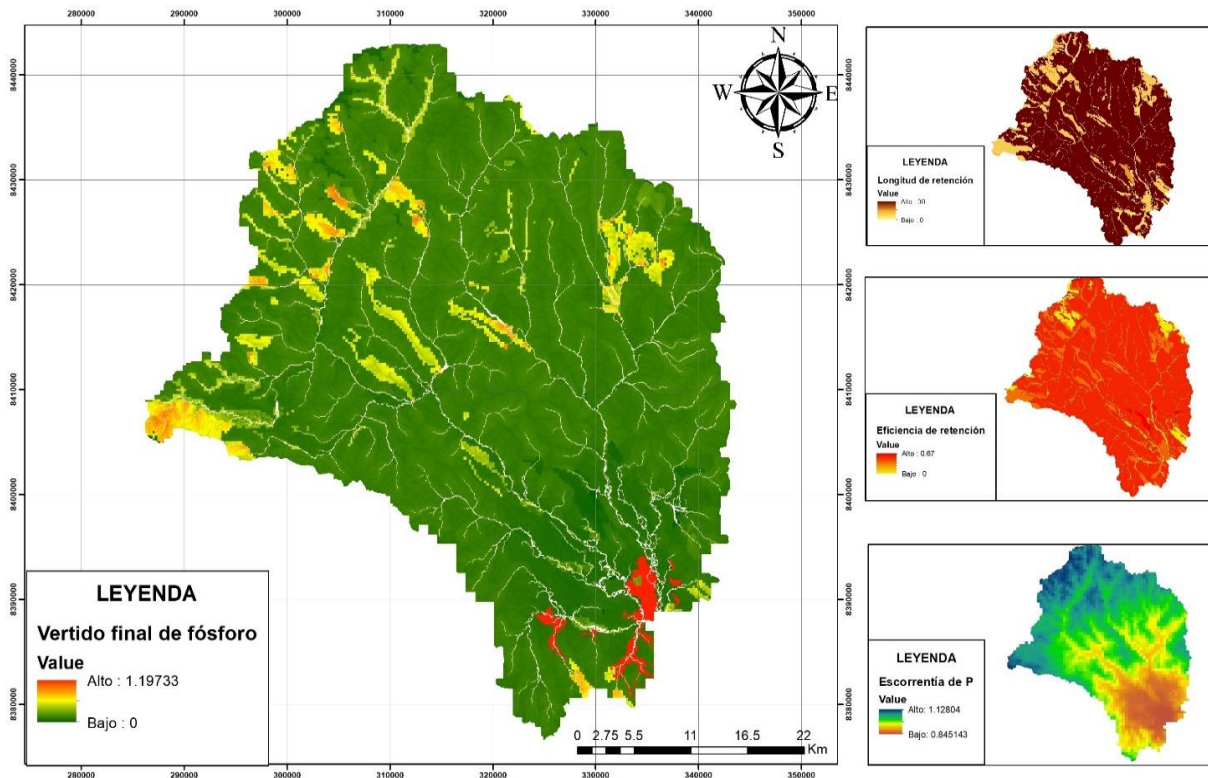
##### 3.2.1. Tasa de descarga o vertido final de nitrógeno en la microcuenca Nuñoa

En la figura 5. se presenta los resultados del modelamiento de la cantidad de nitrógeno que finalmente se descarga en la microcuenca Nuñoa, expresado en kg/píxel. Se obtuvo niveles altos de 10.1975 kg/píxel.



*Figura 4. Mapa de la descarga de Nitrógeno en la microcuenca Nuñoa.*  
**3.2.2. Tasa de descarga o vertido final de fósforo en la microcuenca Nuñoa**

En la figura 5. se presenta los resultados del modelamiento de la cantidad de fósforo que finalmente se descarga en la microcuenca Nuñoa, expresado en kg/píxel. Así mismo, se obtuvo datos de 1.197 kg/píxel.



*Figura 5. Mapa de la descarga de fósforo en la microcuenca Nuñoa.*

### 3.3. Discusión

En un estudio realizado en la cuenca de Baiyagdian en China, con la misma metodología de modelamiento con el software InVEST, se obtuvieron resultados más elevados de aproximadamente 9 650 000 kg/año de nitrógeno y 650 000 kg/año de fósforo, los cuales fueron consecuencia de la expansión de las tierras agrícolas sin planificación y la disminución de los pastizales. De igual manera, en el estudio de (Carpenter, Caraco, & Correll, 1998), se mostró una cantidad de 8158 kg/año de nitrógeno y 2015 kg/año de fósforo. Estos datos resultan elevados, respecto a la comparación con los valores referenciales de descargas anuales (Tabla 2).

Por el contrario, los resultados en la microcuenca Nuñoa no tienen niveles tan elevados, pero también son significativos, en ese sentido, la consecuencia a mediano o largo plazo es una disminución en la calidad del recurso hídrico (Benjumea, Bedoya, & Álvarez, 2014), incluyendo un problema de eutrofización para los cuerpos de agua cercanos, para la cuenca Ramis y por consiguiente un aporte de nutrientes al lago Titicaca, el cual ya se encuentra afectado por altas concentraciones de nutrientes, como se evidencia en los resultados de los análisis realizados por (Beltrán et al., 2015), con una concentración de fósforo 4.63 mg/L y nitrato 18.86 mg/L, estos resultados conllevaron a un diagnóstico de eutrofización extrema.

### **3.3.1. Causas de exceso de nutrientes**

Entre las posibles causas del exceso de nutrientes, se realiza la atribución al uso de insumos que contienen altos niveles de nutrientes, la densidad de población animal y finalmente, la agricultura por el uso de abono con estiércol de ovino y vacuno, que podría llegar a ser un abono de alto grado (hasta un 82% de exceso). Sin embargo, otras variedades de abonos más adecuados son: guano, la harina de hueso, la harina de pescado y la sangre, que contienen aproximadamente el 5% de cada uno de los nutrientes necesarios (FAO, 1999).

Por otro lado, (Hernández & Babbar, 2001), afirma que la producción del abono orgánico (estiércol), excede las necesidades de los cultivos, a causa de los alimentos que se usa en la actualidad para la crianza de los animales, puesto que, en ocasiones utilizan residuos de siembra.

Así mismo, existen otros factores que influyen de manera significativa, como la mínima longitud de retención, es decir, la distancia que existe entre las áreas de cultivo y las fuentes de agua de la microcuenca Nuñoa, esto se puede observar en el mapa de uso de suelo (Figura 2), donde, los cultivos están cercanos a las fuentes de agua, provocando que los filtros, como pueden ser los pastizales y otras especies, no logren retener los contaminantes por completo. Otro factor es la escorrentía de nutrientes, puesto que, los niveles de precipitación son elevados, produciendo una mayor escorrentía de nutrientes.

## **4. Conclusiones**

En el presente estudio, se realizó el modelamiento de la tasa de descarga de nutrientes (NDR), para obtener una estimación de la cantidad de descarga de nitrógeno y fósforo en la microcuenca Nuñoa, donde se determina que los valores estimados con el modelamiento son significativos, referente a la comparación con los valores referenciales de descargas anuales de nutrientes.

Las causas encontradas durante el estudio son variadas, entre la actividad pecuaria, la agricultura y la longitud de retención, sin embargo, la más resaltante es la agricultura, por la cantidad de nutrientes que se aportan al cultivo a través del abono (estiércol de vacuno y ovino), logrando hasta un 82% de exceso, aunque, no puede existir una afirmación sin un análisis en el distrito de Nuñoa.

No obstante, podría significar un riesgo de contaminación en la microcuenca Nuñoa a mediano o largo plazo, puesto que, un exceso de nitrógeno y fósforo, ocasiona la eutrofización y en consecuencia la muerte de la biota acuática, como se puede percibir en el problema de eutrofización extrema del lago Titicaca.

Este problema lentamente está degradando las fuentes de agua y todo el ecosistema acuático, también perjudica el uso del agua para ser bebida por las personas, puesto que la principal dificultad es que interfiere la capacidad de transporte de oxígeno a la sangre y en el ganado puede causar abortos y otros daños.

## **Recomendaciones**

- Indagar más sobre el aporte de nutrientes, provenientes de otros tipos de abono utilizados en la actualidad.
- Procurar realizar más estudios, incluyendo análisis in situ, del lugar de estudio, para tener mayor impacto cada vez en las personas y lograr un aporte para la mitigación del problema.
- Considerar el caudal y otros datos necesarios para la comparación con la normativa ambiental.

## 5. Referencias

- Bai, Y., Ouyang, Z., Zheng, H., Zhuang, C., & Bo, J. (2012). Modeling hydrological ecosystem services and tradeoffs: a case study in Baiyangdian watershed, China. *Environ Earth Sci*, 8.
- Barrios, W., Chavera, A., Huamán, H., & Huanca, W. (2011). Alteraciones anátomo-histopatológicas testiculares en alpacas (*vicugna pacos*) beneficiadas en Nuñoa, Puno. *Scielo*.
- Beltrán, D., Palomino, R., Moreno, E., Peralta, C., & Montesinos, D. (2015). Calidad de agua de la bahía interior de Puno, lago Titicaca durante el verano del 2011. *Scielo*.
- Benjumea, C., Bedoya, C., & Álvarez, D. (2014). Evolución en la carga de nutrientes de ríos de montaña que fluyen a un embalse, cuenca media del río Magdalena. *Dialnet*.
- Carpenter, S., Caraco, N., & Correll, D. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecol.Appl*, 8,559-568.
- De Groot, R., Wilson, M. A., & Boumans, M. R. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecol Complex*, 260–272.
- Downing, J. A., & McCauley, E. (1992). El nitrógeno: Fosforo relación en lagos. *Limnol Oceanogr*, 37,936-945.
- DRA-P. (2019). V FERIA NACIONAL ÑUÑO A 2019. 1-2.
- Dupas, R., Delmas, M., Dorioz, J. M., Garnier, J., Moatar, & Gascuel-Oudou, C. F. (2014). Assessing the impact of agricultural pressures on N and P loads and Eutrophication risk. *Ecological Indicators* 48, 396-407.
- FAO. (1999). Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.*, 4.
- Gimona, A., & Van der Horst, D. (2007). Mapping hotspots of multiple landscape functions: a case study on farmland afforestation in Scotland. *Landsc Ecol*, 22:1255-1264.
- Hernández, L., & Babbar, L. (2001). *Sistemas de producción animal intensivos y el cuidado del ambiente: situación actual y oportunidades*. Cuba: Pastos y Forrajes, vol. 24, no 4.
- Hogares Juveniles Campesinos. (2001). *Biblioteca del campo: granja integral autosuficiente. Manual de la granja integral, Volumen 1*.
- Huayta, S. N. (15 de Junio de 2020). El abono utilizado para sus cultivos de papa, oca y avena en Pacobamba bajo. (E. S. Huamaní, Entrevistador)
- Iglesias, L. (2001). *El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente*. Madrid: Rivadeneyra,S.A.



- INRENA. (Agosto de 2008). *Inventario de Fuentes de Agua Superficial, Actualización del Balance Hídrico de la cuenca del Río Ramis*. Obtenido de MINAGRI:<http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/585.pdf>
- Jorgensen, S., & Vollenweider, R. (1988). Guidelines of Lakes Management: Principles of Lake Management. *United Nations Environment Programme*, 91-98.
- Ledesma, C., Bonansea, M., Rodriguez, C., & Sanchez, A. (2013). Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina). *Ciencia Agronómica*, 420.
- Los Andes. (28 de Noviembre de 2011). *Diario del Sur*. Obtenido de <http://www.losandes.com.pe/oweb/Regional/20111128/58496.html>
- MINAGRI. (2018). Reporte de intervenciones. 2.
- MINAM. (2020). Plataforma de información Territorial Ambiental. *Geo Servidor MINAM*.
- MINEDU. (2020). Descarga de Información Espacial del MED. *MINEDU*.
- Montalvo, J., Perigó, E., Martinez, M., García, I., Esponda, S. C., Cesar, M. E., . . . Blanco, M. (2010). Compuestos de nitrógeno y fósforo en las aguas superficiales de tres zonas de la plataforma marina cubana. *Serie Oceanológica.*, 30;34.
- Naidoo, R., & Ricketts, T. (2006). Mapping the economic costs and benefits of conservation. *PLoS Biol*, 4:360.
- NatCap. (2019). Manual de Evaluación Integrada de Servicios Ecosistémicos y Compensaciones. *Stanford University*.
- Tapia, O. (2018). Factores que determinan la producción de ganado vacuno en el distrito de Ayaviri, provincia de Melgar del departamento de Puno. 23-24.
- Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (1988). *Los suelos y su fertilidad*. Barcelona: Reverté.
- Turpo, L. (2017). *Evaluación y diseño de un sistema de riego por aspersión en la comunidad campesina Juan Velasco Alvarado del distrito de Nuñoa-Melgar-Puno*. Juliaca.
- USGS. (2020). Earth Explorer. *Science for a Changing World*.
- Worldclim. (2020). Datos climáticos y meteorológicos globales.