

## ARTÍCULO ORIGINAL

# Producción de alfalfa en Puno: tendencia e implicancias en la agricultura y ganadería

## Alfalfa Production in Puno: Trends and Implications for Agriculture and Livestock Farming

Sabino Edgar Mamani-Choque,<sup>†</sup> Gerardo Godofredo Mamani-Choque,<sup>‡</sup> y William Gilmer Parillo-Mamani<sup>¶</sup>

<sup>†</sup>Facultad de Ingeniería Económica, Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú ; ORCID: 0000-0001-7433-3551

<sup>‡</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú; ORCID: 0000-0003-1858-4270

<sup>¶</sup>Facultad de Ingeniería Económica, Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5707-8050>

\*Correspondencia al correo: [semamani@unap.edu.pe](mailto:semamani@unap.edu.pe)

(Recibido 15 de enero, 2025; aceptado 06 de abril, 2024)

### Resumen

Esta investigación sobre la producción de alfalfa en Puno analiza la transformación de la estructura agropecuaria regional durante las últimas décadas, destacando el rol estratégico de este cultivo en los contextos agrícola y ganadero. Con base en datos de las campañas agrícolas 1996/1997 a 2021/2022, se identifican tendencias como el incremento en el área destinada a forrajes, impulsado por el cambio climático y la migración hacia actividades mineras. Estos cambios han generado un desplazamiento de cultivos tradicionales hacia otros mejor adaptados a las condiciones agroecológicas, como la alfalfa, que sustenta la creciente actividad ganadera lechera. A partir de datos del Censo Nacional Agropecuario de 2012, se emplearon técnicas como el análisis de conglomerados para clasificar distritos según patrones productivos, identificándose tres grupos agropecuarios caracterizados por niveles de especialización y adaptabilidad climática. Por otro lado, con datos de las campañas agrícolas 1996/1997 a 2021/2022, se utilizó el modelo de Gompertz para evaluar la adopción tecnológica, observándose un patrón sigmoideo en la adopción de la alfalfa, con un crecimiento inicial lento que se aceleró en años recientes, consolidándola como cultivo importante. En conclusión, se resalta la necesidad de políticas que equilibren sostenibilidad, productividad y resiliencia ante los desafíos climáticos y sociales.

**Palabras clave:** Alfalfa, producción agropecuaria, adopción de tecnología, cambio climático.

### Abstract

This research on alfalfa production in Puno analyzes the transformation of the regional agricultural structure during the last decades, highlighting the strategic role of this crop in the agricultural and livestock contexts. Based on data from the 1996/1997 to 2021/2022 agricultural seasons, trends are identified, such as the increase in the area devoted to fodder, driven by climate change and migration to mining activities. These changes have led to a shift from traditional crops to others that are better adapted to agroecological conditions, such as alfalfa, which supports the growing dairy cattle activity. Based on data from the 2012 National Agricultural Census, techniques such as cluster analysis were used to classify districts according to production patterns, identifying three agricultural groups characterized by levels of specialization and climatic adaptability. On the other hand, with data from the 1996/1997 to 2021/2022 agricultural seasons, the Gompertz model was used to evaluate technological adoption, observing a sigmoidal pattern in the adoption of alfalfa, with a slow initial growth that accelerated in recent years, consolidating it as an important crop. In conclusion, it highlights the need for policies that balance sustainability, productivity and resilience in the face of climate

and social challenges.

**Keywords:** *Alfalfa, Agricultural Production, Technology Adoption, Climate Change.*

## 1. Introducción

En la región de Puno, el sector agropecuario constituye el 17.5% del Producto Bruto Interno (PBI), ubicándose como el segundo sector económico más importante después de otros servicios (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2023). Este sector desempeña un rol importante en la seguridad alimentaria, la generación de empleo rural y la preservación de prácticas agrícolas ancestrales adaptadas al altiplano, consolidándose como un sector estratégico para el desarrollo sostenible.

En los últimos años, la estructura productiva agropecuaria de la región ha experimentado cambios significativos, influenciados principalmente por el cambio climático y la migración de mano de obra. Las variaciones en las precipitaciones han reducido el área dedicada a cultivos de consumo humano, mientras que las extensiones destinadas a cultivos forrajeros como la avena y la alfalfa han aumentado, favoreciendo la crianza de vacunos lecheros. Paralelamente, la migración masculina hacia sectores más lucrativos como la minería ha reducido la disponibilidad de mano de obra en el sector agropecuario, desplazando las responsabilidades hacia las mujeres rurales. Este cambio ha incrementado la relevancia de la ganadería como actividad económica principal, capaz de adaptarse a las nuevas condiciones sociales y económicas (Chavas, 2001).

En este contexto, la alfalfa (*Medicago sativa* L.) ha emergido como un cultivo estratégico en Puno, siendo esencial para la producción forrajera que sustenta la ganadería vacuna. Sin embargo, esta especialización productiva plantea desafíos para la seguridad alimentaria, ya que la reducción de la diversidad de cultivos ha impactado negativamente en la disponibilidad de alimentos destinados al consumo humano. Actualmente, solo seis cultivos concentran el 85% del área cosechada en la región, evidenciando una transición hacia una estructura productiva más concentrada en la ganadería. Esta tendencia promueve eficiencia y productividad en el sector ganadero, pero pone en riesgo la resiliencia y sostenibilidad del sistema agropecuario frente a las fluctuaciones climáticas y económicas.

Los cambios en la estructura productiva responden, además, a factores globales y locales como la adopción de nuevas tecnologías, las modificaciones en las políticas agrícolas y las necesidades de gestión de riesgos. Por ejemplo, el cambio climático ha intensificado la incertidumbre en la producción agrícola, impulsando la necesidad de seguros agrícolas y estrategias de diversificación para mitigar los efectos adversos. Asimismo, las políticas públicas que incentivan la producción ganadera han generado impactos positivos en los ingresos de los productores, pero también han contribuido al desplazamiento de cultivos tradicionales, exacerbando los riesgos de inseguridad alimentaria (Macdonald et al., 2013; Sumner et al., 2010).

A nivel social, la migración y la diversificación de ingresos han transformado la dinámica rural en Puno. La migración circular (Solomon et al., 2024) y el ingreso fuera de la unidad productiva son estrategias importantes para enfrentar las fluctuaciones en los ingresos agrícolas y garantizar el bienestar económico de los productores del medio rural. Estas dinámicas reflejan la creciente interdependencia entre las actividades agrícolas y no agrícolas en la región.

En este contexto, el objetivo de esta investigación es analizar la evolución de la producción de alfalfa en Puno y sus implicancias en la agricultura y ganadería, destacando las tendencias que configuran la estructura productiva regional.

## 2. Materiales y métodos

Para analizar los cambios en la estructura productiva agrícola de la región sierra de Puno, se utilizó información de 21 cultivos que corresponde a las campañas agrícolas 1996/1997 y 2021/2022. La evolución del proceso de adopción de la alfalfa se analizó a partir de la serie de estadísticas anuales correspondiente a la Gerencia Regional de Desarrollo Agrario de Puno (Gerencia Regional de Desarrollo Agrario, n.d.).

Por otro lado, el análisis de conglomerados se realizó con información correspondiente al IV Censo Nacional Agropecuario 2012 (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], n.d.). Este análisis incluyó las especies pecuarias más importantes: vacunos, ovinos y alpacas. En el caso de cultivos, se priorizaron los más importantes en relación con el área total cosechada del departamento de Puno (170 634.27 has.). Los cultivos seleccionados fueron: papa (24.5%), quinua (10.5%), avena forrajera (19.5%) y alfalfa (14.4%)<sup>1</sup>

**Análisis de conglomerados.** Esta técnica permite identificar estructuras entre un conjunto de observaciones que expresan un perfil en múltiples dimensiones. Agrupa a individuos u objetos en conglomerados de modo que dentro de un conglomerado se encuentren los más parecidos entre sí, pero diferentes respecto a los que se encuentran en otros conglomerados. El procedimiento de agrupación utilizado fue jerárquico, mediante el método de Ward que minimiza la varianza total intra grupos y permite formar agrupamientos bien definidos (Hair et al., 1999; Peña, 2002). Así los distritos del departamento de Puno se agruparon con base en similitudes y diferencias, considerando el área cosechada de los cultivos y las crianzas más importantes.

**Modelo de Gompertz.** Es un modelo matemático que se caracteriza por su capacidad para representar eventos cuya evolución es sigmoidea, donde la fase inicial es de crecimiento exponencial y se desacelera a medida que alcanza su valor máximo. Se representa como:

$$Y_t = Ae^{-e^{-B-Ct}}$$

Donde:  $Y_t$  es el valor de la variable dependiente en el período  $t$ ,  $A > 0$  es el valor asintótico,  $B > 0$  controla la diferencia entre el valor inicial y el valor final en el tiempo  $t$ ,  $C > 0$  describe el índice de madurez o tasa específica de crecimiento.

El punto de inflexión ocurre cuando  $Y = \frac{A}{e}$  y  $t = \frac{B}{C}$  (Casas et al., 2010).

El proceso de adopción de tecnología se representa mediante los modelos logístico, Gompertz y Bass, que tienen forma de S con fases de introducción, crecimiento y saturación (Franco & Rodríguez, 2009; Jabbar et al., 1998). Los porcentajes teóricos incluyen innovadores (2.5%), primeros adoptantes (13.5%), mayorías temprana y tardía (34% cada una) y rezagados (16%) (Colton, 2015; Rogers, 1983). Estos modelos explican cómo factores económicos, sociales y tecnológicos influyen en la adopción, evaluando la velocidad de adopción y la dinámica de crecimiento y madurez de la innovación (Dissanayake et al., 2022; Kalaitzandonakes et al., 2018; Lartey, 2020).

El procesamiento de la información se hizo en Excel y el programa estadístico SAS On Demand for Academics (SAS Institute Inc., 2023).

### 3. Resultados

#### 3.1 Estructura productiva

Para analizar los cambios en la estructura productiva agrícola entre las campañas agrícolas 1996/1997 y 2021/2022, se realizó un análisis comparativo en términos relativos. Este análisis permitió determinar la importancia relativa de cada cultivo, medida mediante dos indicadores importantes: el área cosechada (has.) y el valor bruto de la producción (S/) utilizado como proxy para representar la capacidad económica generada por cada cultivo en el contexto de la región.

En la campaña agrícola 1996/1997 (Tabla 1), la estructura productiva agrícola evidenció una marcada concentración en diez cultivos principales, que en conjunto representaron el 93% del área total cosechada. Dentro de este grupo, la papa destacó como el cultivo predominante, con una participación del 27% del área total, seguida por la cebada (14%), avena forrajera (12%), quinua (11%), y cebada forrajera (11%). Otros cultivos de menor importancia relativa incluyeron café (5%), cañihua (3%), alfalfa (3%), haba grano seco (3%) y oca (3%). Esta distribución refleja la prevalencia de cultivos tradicionales orientados principalmente a satisfacer necesidades de subsistencia, con un enfoque estratégico en la

1. No incluye cultivos asociados debido a la falta de información específica sobre la superficie exacta de cada cultivo en las diferentes asociaciones.

producción de alimentos básicos y forrajes esenciales para la seguridad alimentaria y la actividad pecuaria en la región.

Sin embargo, al analizar la estructura productiva en términos del valor agregado bruto (VAB), se evidencian diferencias significativas entre la distribución del área cosechada y la capacidad económica generada por cada cultivo, debidas a las diferencias de precios en el mercado. La papa se posiciona como el cultivo predominante, liderando tanto en superficie cosechada (40 190 ha) como en generación de valor económico, con un aporte al VAB de S/ 133 746.99. No obstante, cultivos como la avena forrajera (18 537 ha) y la cebada forrajera (16 921 ha), que ocupan posiciones relevantes en términos de superficie, presentan una menor participación en el VAB. En contraste, productos como el café y la alfalfa, aunque con menores áreas cosechadas, aportan un valor económico considerablemente superior, debido a sus precios de mercado más altos. Este contraste resalta la importancia de los precios de mercado en la valoración económica de los cultivos, donde aquellos con mayor valor comercial pueden compensar su limitada extensión territorial, destacando su importancia estratégica en la generación de ingresos y riqueza.

**Tabla 1.** Estructura productiva agrícola de la campaña agrícola 1996/1997

Superficie cosechada			Valor bruto de la producción (VBP)			
Cultivo	Hectáreas	Participación acumulada	Cultivo	VBP (S/)	Participación acumulada	
1	Papa	40190	0.266	Papa	133746.99	0.353
2	Cebada grano	20437	0.402	Avena forrajera	68336.46	0.533
3	Avena forrajera	18537	0.525	Cebada forrajera	51855.39	0.670
4	Quinua	17195	0.639	Cafeto	27400.28	0.742
5	Cebada forrajera	16921	0.751	Alfalfa	22232.94	0.801
6	Cafeto	6940	0.797	Oca	19161.35	0.851
7	Cañihua	5220	0.832	Otros pastos	14154.56	0.888
8	Alfalfa	5095	0.865	Quinua	13180.89	0.923
9	Haba G. S. (a)	5007	0.899	Cebada grano	8869.98	0.947
10	Oca	4274	0.927	Cebolla	5390.55	0.961
11	Avena grano	3505	0.950	Haba G. S. (a)	4035.57	0.971
12	Otros pastos	3065	0.971	Olluco	3047.56	0.979
13	Haba G. V. (c)	1101	0.978	Haba G. V. (c)	2565.15	0.986
14	Tarhui	1055	0.985	Cañihua	1782.39	0.991
15	Olluco	895	0.991	Avena grano	1411.00	0.995
16	Cebolla	562	0.994	Izaño	1276.00	0.998
17	Izaño	518	0.998	Tarhui	529.47	0.999
18	Arveja G. S. (b)	190	0.999	Arveja G. S. (b)	121.68	1.000
19	Centeno grano	100	1.000	Zanahoria	41.40	1.000
20	Zanahoria	13	1.000	Centeno grano	38.40	1.000
21	Lechuga	12	1.000	Lechuga	38.13	1.000
<b>Total</b>	<b>150832</b>			<b>379216.14</b>		

**Notas:** (a) Haba grano seco, (b) Arveja grano seco, (c) Haba grano verde.

Después de 25 años, el primer cambio importante en la estructura productiva de la región es el significativo aumento en el área total cosechada, que pasó de 150 832 (has.) en la campaña agrícola 1996/1997 a 365 748 (has.) en 2021/2022, lo que representa un incremento del 242%. Este crecimiento refleja una expansión sustancial de la actividad agrícola, impulsada posiblemente por factores como el desarrollo de nuevas áreas cultivables, una mayor necesidad de piso forrajero y crecimiento de la población. Además, evidencia un aumento en la capacidad productiva y tiene implicancias directas en términos de seguridad alimentaria, generación de empleo rural y contribución al VAB de la región, destacando el rol estratégico de la agricultura como motor económico en el ámbito local y regional.

En la campaña agrícola 2021/2022 (Tabla 2), la estructura productiva agrícola de la región muestra transformaciones significativas en comparación con la campaña 1996/1997, destacando un cambio en la importancia relativa de los cultivos. La alfalfa se posiciona como el cultivo predominante, representando el 25% del área total cosechada, seguida por la avena forrajera con un 22%. La papa, aunque sigue siendo

un cultivo relevante, ocupa el tercer lugar con una participación del 17%, reflejando un desplazamiento respecto a su posición predominante en la campaña 1996/1997. Asimismo, la quinua mantiene su relevancia con un 10%, consolidándose como un cultivo estratégico, mientras que la cebada grano y la cebada forrajera han disminuido su importancia relativa, representando un 6% y un 4%, respectivamente.

Este cambio, con predominio de cultivos como alfalfa y avena forrajera, responde estratégicamente a los desafíos impuestos por los cambios climáticos bruscos y al desplazamiento de la mano de obra hacia la actividad minera. La priorización de cultivos forrajeros sostiene la ganadería lechera, una actividad económica menos riesgosa que los cultivos tradicionales frente a la variabilidad climática, aunque no exenta de afectaciones por eventos extremos. Esta estrategia asegura mayor estabilidad productiva en un contexto de vulnerabilidad climática y reducción de mano de obra agrícola debido al desplazamiento hacia la minería.

Por otro lado, la estructura productiva agrícola de acuerdo al VAB muestra cambios significativos respecto a 1996/1997, reflejando una reconfiguración en la contribución económica de los cultivos. La papa continúa liderando con un 34% del VAB, consolidando su relevancia tanto en superficie como en generación de valor. Sin embargo, la avena forrajera, con un aporte del 33%, destaca como el segundo cultivo más importante, reflejando la creciente influencia de los cultivos forrajeros en la economía agrícola de la región. Por su parte, la alfalfa ocupa el tercer lugar con un 17%, mientras que cultivos tradicionales como la quinua (4%) y la cebada forrajera (3%) muestran una participación baja. Por otro lado, cultivos como el café (2%), junto con la cebada grano, los pastos, la oca y la avena grano, cada uno con apenas un 1% del VAB, han reducido significativamente su importancia económica. Esto refleja un cambio estratégico hacia cultivos forrajeros, más vinculados a la actividad ganadera, como respuesta a las nuevas dinámicas productivas y a los desafíos impuestos por el cambio climático y la reducción de mano de obra agrícola.

Durante el período analizado, los cultivos con mayor tasa de crecimiento interanual fueron la alfalfa (13.3%) y la avena forrajera (5.0%), lo que evidencia una clara priorización de los cultivos forrajeros en la región. Por otro lado, los cultivos orientados al consumo humano, como la quinua (3.2%) y la papa (1.9%), mostraron tasas de crecimiento más bajas, mostrando un cambio que privilegia la actividad pecuaria, sustentada en el desarrollo de una base forrajera sólida para garantizar la estabilidad económica de la ganadería lechera.

### **3.2 Estructura productiva: Agrupación de los distritos por importancia agrícola y pecuaria**

El análisis de conglomerados clasificó a los distritos de la región Puno en tres grupos representativos, utilizando como variables el área cosechada de los principales cultivos (papa, quinua, avena forrajera y alfalfa) y el número de cabezas de las especies pecuarias más importantes (vacunos, ovinos y alpacas). Estas variables, extraídas del IV Censo Nacional Agropecuario 2012, permitieron identificar patrones que reflejan la estructura productiva agropecuaria de la región. Los resultados del análisis se visualizan en el dendograma de la Figura 1, que muestra cómo se agruparon los distritos en función de las similitudes.

A partir de los resultados que se muestran en la Tabla 3, la caracterización de los conglomerados es el siguiente:

#### **a. Productores alpaqueros con agricultura limitada**

Comprende 57 distritos cuya producción está marcada por la predominancia de la crianza de alpacas, con un promedio de 957 402 cabezas y una desviación estándar de 16 796.5, reflejando la adecuación de esta actividad a los pisos altitudinales altos y las condiciones climáticas extremas, como bajas temperaturas y frecuentes heladas. Las actividades agrícolas son limitadas, con pequeñas áreas destinadas a cultivos como la alfalfa (1 066.5 ha), quinua (1 260.3 ha), papa (10 142.8 ha) y avena forrajera (2 476.4 ha), caracterizando a estos distritos como dependientes de recursos adaptados a climas fríos y suelos marginales.

#### **b. Productores agropecuarios de nivel intermedio**

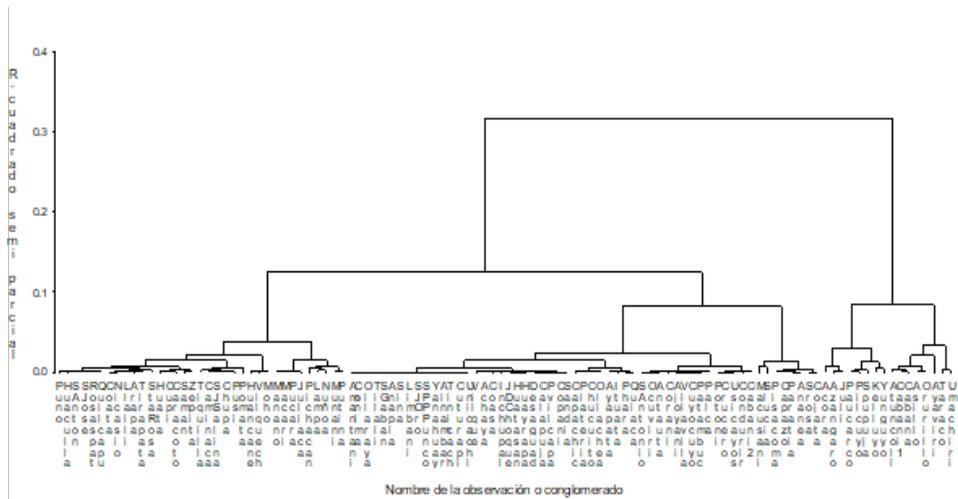
Está conformado por 35 distritos y se caracteriza por un balance entre agricultura y ganadería, con actividades definidas por pisos altitudinales intermedios donde las condiciones climáticas son

Tabla 2. Estructura productiva agrícola de la campaña agrícola 2021/2022.

No. de orden	Superficie cosechada			Valor bruto de la producción (VBP)		
	Cultivo	Hectáreas	Participación acumulada	Cultivo	VBP (S/)	Participación acumulada
1	Alfalfa	91617	0.250	Papa	1608351.12	0.344
2	Avena forrajera	79137	0.467	Avena forrajera	1519760.17	0.670
3	Papa	63120	0.639	Alfalfa	810223.59	0.843
4	Quinua	36864	0.740	Quinua	176685.08	0.881
5	Cebada grano	23573	0.805	Cebada forrajera	131652.79	0.909
6	Cebada forrajera	14871	0.845	Cafeto	110863.76	0.933
7	Cafeto	10975	0.875	Cebada grano	53363.14	0.944
8	Otros pastos	10915	0.905	Otros pastos	53208.68	0.956
9	Haba G. S. (a)	9689	0.932	Oca	48139.62	0.966
10	Avena grano	8590	0.955	Olluco	43150.16	0.975
11	Cañihua	5601	0.970	Haba G. S. (a)	32501.70	0.982
12	Oca	3485	0.980	Cañihua	29142.84	0.988
13	Olluco	2900	0.988	Izaño	14321.61	0.992
14	Izaño	1101	0.991	Avena grano	12364.15	0.994
15	Tarhui	1101	0.994	Haba G. V. (c)	10096.07	0.996
16	Arveja G. S. (b)	1085	0.997	Tarhui	9206.11	0.998
17	Haba G. V. (c)	710	0.999	Cebolla	5520.52	0.999
18	Cebolla	358	1.000	Arveja G. S. (b)	2122.66	1.000
19	Centeno grano	35	1.000	Zanahoria	170.19	1.000
20	Zanahoria	16	1.000	Centeno grano	68.96	1.000
21	Lechuga	5	1.000	Lechuga	34.87	1.000
		<b>365748</b>			<b>4670947.77</b>	

Notas: (a) Haba grano seco, (b) Arveja grano seco, (c) Haba grano verde.

Figura 1. Dendograma y definición de conglomerados



más moderadas, permitiendo una mayor diversidad productiva. Los vacunos (272 708 cabezas) y ovinos (906 880 cabezas) tienen una presencia destacada, mientras que las alpacas (379 594 cabezas) son menos representativas que en el Conglomerado 1. La agricultura incluye áreas más extensas dedicadas a alfalfa (11 216 ha), avena forrajera (14 036.9 ha) y papa (12 986.1 ha), lo que refleja un entorno favorable para cultivos con mayor demanda de agua y suelos relativamente productivos.

c. Productores de mayor intensidad agropecuaria

Está compuesto por 16 distritos, corresponde a zonas ubicadas en pisos altitudinales más bajos, con

climas relativamente menos extremos y mayor disponibilidad de recursos hídricos, lo que permite una mayor intensidad productiva. Aunque las alpacas (103 277 cabezas) y los ovinos (533 548 cabezas) tienen menor representación, los vacunos (218 650 cabezas) y los cultivos como alfalfa (13 029 ha) y avena forrajera (15 317 ha) destacan con las mayores áreas y valores promedio. Las mayores desviaciones estándar observadas en este grupo reflejan una diversidad en las prácticas productivas, posiblemente relacionada con una mejor adaptación a las condiciones climáticas y un mejor aprovechamiento de las tecnologías disponibles.

**Tabla 3.** Características de los conglomerados

<b>Conglomerado 1: Productores alpaqueros con agricultura limitada</b>				
	<b>No. de distritos</b>	<b>Total</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>
<b>Vacunos</b>	57	101397.0	1778.9	1622.0
<b>Ovinos</b>	57	576277.0	10110.1	9279.9
<b>Alpacas</b>	57	957402.0	16796.5	25795.2
<b>Alfalfa</b>	57	1066.5	18.7	50.4
<b>Quinua</b>	57	1260.3	22.1	45.3
<b>Papa</b>	57	10142.8	177.9	266.3
<b>Avena forrajera</b>	57	2476.4	43.4	80.2
<b>Conglomerado 2: Productores agropecuarios de nivel intermedio</b>				
<b>Vacunos</b>	35	272708.0	7791.7	3625.8
<b>Ovinos</b>	35	906880.0	25910.9	11440.7
<b>Alpacas</b>	35	379594.0	10845.5	14487.5
<b>Alfalfa</b>	35	11216.0	320.5	314.6
<b>Quinua</b>	35	5731.6	163.8	149.0
<b>Papa</b>	35	12986.1	371.0	316.0
<b>Avena forrajera</b>	35	14036.9	401.1	245.0
<b>Conglomerado 3: Productores de mayor intensidad agropecuaria</b>				
<b>Vacunos</b>	16	218650.0	13665.6	5010.0
<b>Ovinos</b>	16	533548.0	33346.8	17323.1
<b>Alpacas</b>	16	103277.0	6454.8	10572.0
<b>Alfalfa</b>	16	13029.0	814.3	726.7
<b>Quinua</b>	16	8471.2	529.4	241.4
<b>Papa</b>	16	15584.9	974.1	663.6
<b>Avena forrajera</b>	16	15317.0	957.3	669.4

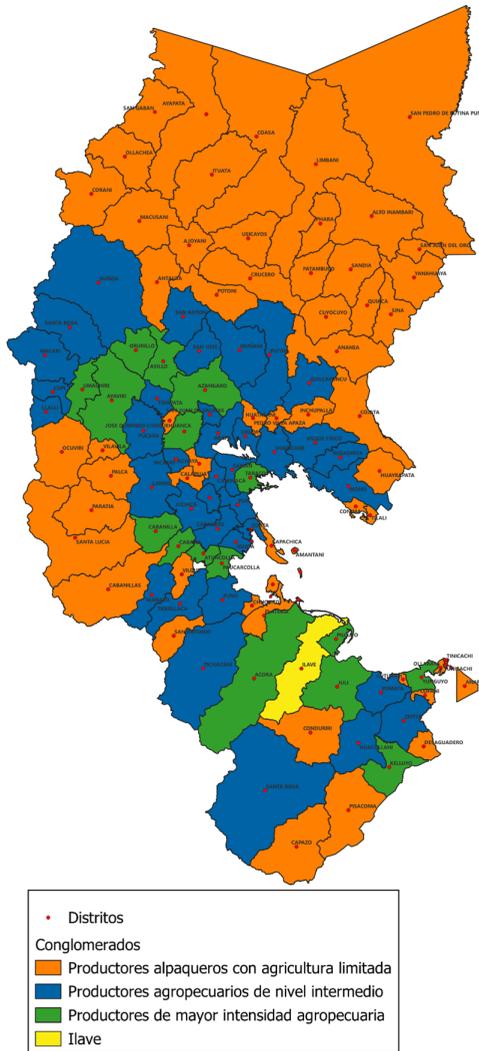
Debido a las variables utilizadas en el análisis de conglomerados, los distritos de la región selva fueron clasificados dentro del conglomerado 1, dado que resultó difícil separar claramente los distritos ubicados en zonas de transición entre la sierra y la selva. En particular, los distritos de Ajoyani y San Gabán, en la provincia de Carabaya, y Phara, San Juan del Oro, Yanahuaya, Alto Inambari y San Pedro de Putina Punco, en la provincia de Sandia, mostraron una participación nula o inferior al 10% en las variables analizadas, respecto al total provincial. Esto evidencia que las actividades productivas predominantes en estos distritos no se ajustan a los patrones agropecuarios principales considerados en los otros conglomerados (Figura 2).

Además, el distrito de llave destaca como un caso atípico. Por un lado, posee la mayor superficie cosechada de quinua, con 2 389 has., complementada por una producción significativa de papa (5 455 has.) y avena forrajera (1 413 has.). Por otro lado, su actividad pecuaria también es resaltante, cuyo capital pecuario consta de 24 408 vacunos, 71 627 ovinos y 19 630 alpacas.

### **3.3 Tendencia de la producción de alfalfa**

En el contexto agrícola, el modelo de Gompertz es importante para comprender el proceso de adopción o adaptación de tecnologías, ya que permite analizar la velocidad y las limitaciones inherentes a dicho proceso. En el caso de la producción, los resultados del modelo reflejan un patrón de crecimiento sigmoideo, evidenciando un comportamiento inicial lento, seguido de una estabilización progresiva en torno a un límite asintótico de 257 764.6 hectáreas. El modelo estimado fue el siguiente:

Figura 2. Distribución espacial de los conglomerados.



$$Y_t = 257764.6 e^{-e^{(1.8229-0.0702t)}}$$

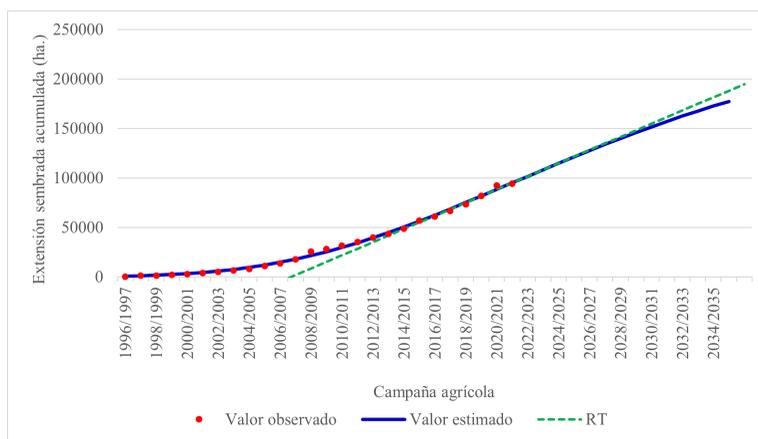
Donde  $Y_t$  es la producción de alfalfa en el periodo  $t$ ,  $A$  (257 764.6) es valor asintótico de la producción,  $B$  (1.8229) es el parámetro que controla el ajuste de la curva, y  $C$  (0.0702) es la tasa de crecimiento del proceso. De acuerdo a la estimación, el periodo de “adaptación” tuvo una duración aproximada de 12 años<sup>2</sup> que culminó en la campaña agrícola 2007/2008. En el contexto de adopción de tecnología, este periodo representa la fase inicial de adopción temprana o la etapa de introducción y prueba de la tecnología. Durante esta etapa, el crecimiento fue lento debido a limitaciones de diversa índole:

2. en el modelo de Gompertz se calcula como:

$$t = \frac{B-1}{c}$$

difusión, barreras iniciales como problemas de manejo o resistencia al cambio. Por otro lado, la tasa de crecimiento más alta, ocurrió después de 26 años, es decir, en la campaña agrícola 2021/2022 (Figura 3). Además, es importante resaltar que la alfalfa fue introducida en la región de Puno durante la década de 1960, y las primeras estadísticas disponibles datan de 1970, con una superficie cosechada de 20 hectáreas. En 1988, se registró una expansión significativa, alcanzando 3 588 hectáreas cosechadas (Ccama, 1991). Sin embargo, la falta de continuidad en el registro estadístico durante este periodo sugiere que el proceso de adopción inicial de la alfalfa abarcó más de 37 años, un periodo considerablemente extenso para un proceso de difusión tecnológica en el ámbito agrícola. Por tanto, se concluye que el proceso de adopción de la alfalfa, inicialmente fue lento, pero después de superar las limitaciones, se ha consolidado como un componente importante y estratégico en la estructura productiva agrícola de la región.

Figura 3. Proceso de adopción de alfalfa: 1996/1997 a 2021/2022.



#### 4. Discusión

Los cambios en la estructura productiva de la región de Puno reflejan un proceso de adaptación frente a factores climáticos, económicos y sociales, que han llevado a la predominancia de cultivos forrajeros como la alfalfa y avena, esenciales para sustentar la ganadería lechera. Según Chavas (2001), la adopción de nuevas tecnologías, la gestión de riesgos climáticos y la transferencia de mano de obra hacia actividades más lucrativas son determinantes en las transformaciones productivas. En este sentido, la creciente importancia de la ganadería en Puno se explica también por políticas agrícolas locales que han priorizado incentivos al sector pecuario, en detrimento de cultivos tradicionales como la papa y la cebada (Macdonald et al., 2013; Sumner et al., 2010). Esta transición ha generado ingresos para los productores, pero también plantea desafíos relacionados con la pérdida de diversidad agrícola y la seguridad alimentaria, al concentrar la producción en actividades menos resilientes frente a eventos extremos, como advierten Solomon et al. (2024). Estos hallazgos subrayan la necesidad de un enfoque integral que equilibre las demandas económicas con la sostenibilidad del sistema agropecuario regional.

La priorización de cultivos forrajeros como la alfalfa y la avena, junto con la expansión de la ganadería lechera, ha sido identificada como estrategia clave de adaptación al cambio climático (Taonda et al., 2024). Estas prácticas responden a la necesidad de garantizar una fuente de alimento para el ganado, especialmente en contextos de mayor variabilidad climática (Baraj et al., 2024), y permiten estabilizar los ingresos de los productores rurales, mitigando los riesgos asociados a los cultivos tradicionales. La ganadería lechera, al estar menos expuesta a pérdidas catastróficas por eventos climáticos extremos en comparación con la agricultura, ofrece una mayor previsibilidad económica, reduciendo la vulnerabili-

dad de las familias rurales (Lobell & Gourdj, 2012). La transición hacia un modelo con predominio en la ganadería refleja una respuesta adaptativa al cambio climático y un cambio estructural en la economía rural, donde la estabilidad económica ha ganado prioridad, aunque a costa de la seguridad alimentaria y la diversidad de cultivos (Zerbo et al., 2024).

Por otro lado, la importancia de la migración como estrategia de adaptación y respuesta al cambio climático refleja cómo las personas buscan nuevas oportunidades y recursos en contextos desafiantes. Este es un proceso de transferencia de mano de obra hacia actividades más lucrativas para mejorar las condiciones económicas en medio de escenarios complejos (Boas et al., 2019). En este escenario, la actividad minera es una fuente de ingresos y sustento para hogares vulnerables, caracterizada por informalidad, desigualdad de ingresos y roles de género marcados: mujeres en tareas menos remuneradas y hombres en posiciones mejor pagadas. Esto resalta la necesidad de políticas que mejoren las condiciones laborales y reduzcan las desigualdades (Goetz, 2022).

Respecto al análisis de conglomerados, esta técnica se utiliza para identificar "dominios de recomendación", es decir, grupos de agricultores con necesidades y circunstancias similares para los cuales una recomendación específica sería apropiada. Este enfoque, según Byerlee et al. (1980), facilita la orientación de la investigación, la asignación eficiente de recursos y el diseño de políticas más efectivas. Al clasificar a los agricultores en función de sus patrones de producción, recursos y limitaciones, los investigadores pueden comprender mejor la diversidad de los sistemas agrícolas y adaptar las intervenciones a las necesidades específicas de cada grupo (León-Velarde & Quiroz, 1994; Williams, 1994). El análisis de conglomerados, por lo tanto, contribuye a una mejor comprensión de las complejidades de la agricultura y permite el desarrollo de estrategias más relevantes y sostenibles para el desarrollo rural (Escobar & Berdegue, 1990; Tatis Diaz et al., 2022).

En este contexto, los pisos altitudinales configuran condiciones climáticas y edáficas que afectan la selección de cultivos y las prácticas agrícolas, promoviendo la especialización productiva a través de sistemas adaptados a cada nivel. Estas variaciones influyen en la estructura productiva, reflejándose en las estrategias de manejo, la intensidad y la diversidad de los sistemas agrícolas, lo que resalta la importancia de analizarlos considerando las particularidades y limitaciones específicas de cada altitud (López Rodríguez et al., 2024).

En relación al proceso de adopción y las curvas de adopción, resalta la naturaleza dinámica y multifactorial de la integración de nuevas tecnologías o innovaciones en la sociedad. Según Rogers (1983), este proceso se caracteriza por una progresión desde los innovadores hasta los rezagados, atravesando fases definidas como la introducción, crecimiento y saturación. La curva de adopción sigue un patrón sigmoide, donde la introducción inicial es lenta, seguida por un rápido crecimiento durante la adopción por parte de las mayorías temprana y tardía, hasta alcanzar la estabilización cuando se satura el mercado. Este comportamiento puede modelarse utilizando herramientas matemáticas como los modelos de Gompertz y logístico, que capturan las dinámicas de crecimiento y madurez, así como factores subyacentes como el contagio social y económico (Franco & Rodríguez, 2009; Jabbar et al., 1998; Lartey, 2020).

Factores económicos, socioculturales y tecnológicos desempeñan un papel crucial en la adopción, donde elementos como las ventajas percibidas, la compatibilidad y la simplicidad de las innovaciones influyen significativamente en su aceptación. Estudios como los de Kalaitzandonakes et al. (2018) y Dissanayake et al. (2022) destacan que la educación, el acceso al crédito y las redes sociales son determinantes en la velocidad y amplitud del proceso. Además, el éxito de las innovaciones radica en su capacidad para satisfacer las necesidades y expectativas del mercado, lo que varía según el contexto y la etapa de adopción. Estos patrones reflejan la importancia de comprender las dinámicas de adopción para diseñar estrategias efectivas que maximicen el impacto de las innovaciones (Colton, 2015).

## 5. Conclusión

La estructura productiva de la región Puno ha evolucionado hacia una mayor especialización en cultivos forrajeros como la alfalfa, que alcanzó una superficie de estabilización estimada en 257 764.6

hectáreas. El análisis de conglomerados clasificó a los distritos en tres grupos según sus características agropecuarias, destacando zonas con alta intensidad agropecuaria y equilibrio entre agricultura y ganadería, mientras que en áreas de altitud extrema predominan sistemas limitados basados en la crianza de alpacas. Finalmente, la curva de adopción de alfalfa, modelada con Gompertz, revela un proceso de introducción inicial lento seguido de un crecimiento acelerado y estabilización, consolidando este cultivo como eje estratégico para la sostenibilidad ganadera en la región. Estos cambios subrayan la necesidad de políticas que equilibren especialización productiva, diversidad agrícola y resiliencia climática.

### **Author Contributions**

Sabino Edgar Mamani Choque: [Conceptualización](#), [investigación](#), [análisis formal](#), [redacción de borrador](#), [revisión y edición](#)

Gerardo Godofredo Mamani Choque: [Conceptualización](#), [investigación](#), [obtención de datos](#), [revisión](#), [edición](#) y [supervisión](#)

William Gilmer Mamani Parillo: [Metodología](#), [validación](#), [visualización](#), [edición](#).

### **Financiamiento**

Recibió financiamiento (S/ 6960.00) del Fondo Especial del Desarrollo Universitario de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú.

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

## References

- Altieri, M., & Nicholls, C. (2000). *Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable* (1ra ed.). PNUMA.
- Baraj, B., Mishra, M., Sudarsan, D., Silva, R. M. da, & Santos, C. A. G. (2024). Climate change and resilience, adaptation, and sustainability of agriculture in India: A bibliometric review. *Heliyon*, 10(8). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29586>.
- Boas, I., Farbotko, C., Adams, H., Sterly, H., Bush, S., van der Geest, K., Wiegel, H., Ashraf, H., Baldwin, A., Bettini, G., Blondin, S., de Bruijn, M., Durand-Delacre, D., Fröhlich, C., Gioli, G., Guaita, L., Hut, E., Jarawura, F. X., Lamers, M., ... Hulme, M. (2019). Climate migration myths. *Nature Climate Change*, 9(12), 901–903. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0633-3>.
- Byerlee, D., Collinson, M., Perrin, R., Winkleman, D., Biggs, S., Moscardi, E., Martinez, J., Harrington, L., & Benjamin, A. (1980). Planning technologies appropriate to farmers: Concepts and procedures. CIMMYT, El Batán, México, 71 pp.
- Casas, G. A., Rodríguez, D., & Afanador Téllez, G. (2010). Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz y su aplicación al crecimiento de los cerdos. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23, 349–358.
- Ccama, F. (1991). La estructura y evolución de la producción agropecuaria en el departamento de Puno: Periodo 1970-1988. Proyecto de Investigación de Sistemas Agropecuarios Andinos INIAA-PISA.
- Chavas, J. P. (2001). Structural change in agricultural production: Economics, technology and policy. In *Handbook of Agricultural Economics*. Elsevier Science B.V.
- Colton, J. S. (2015). Adoption, diffusion, and scaling of agricultural technologies in developing countries (pp. 45–75). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-21629-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-21629-4_2).
- Dissanayake, C., Jayathilake, W., Wickramasuriya, H., Dissanayake, U., Kopyawattage, K., & Wasala, W. (2022). Theories and Models of Technology Adoption in Agricultural Sector. *Human Behavior and Emerging Technologies*, Vol. 2022. Wiley-Hindawi. <https://doi.org/10.1155/2022/9258317>.
- Escobar, G., & Berdegue, J. (1990). Tipificación de sistemas de producción agrícola. Red Internacional de Metodología de Investigación de Sistemas de Producción.
- Franco, J., & Rodríguez, M. (2009). Adopción y difusión de la agricultura ecológica en España. Factores de reconversión en el olivar andaluz. *Cuadernos de Economía*, 32(90), 137–158.
- Garrido Egido, L. (1969). Consideraciones en torno a la estructura agraria y su reforma. *Revista de Estudios Agrosociales*, 67, 63–84.
- Gerencia Regional de Desarrollo Agrario. (s.f.). Información Estadística. Recuperado el 13 de noviembre de 2024, de <https://www.agropuno.gob.pe/estadistica-agraria-informatica/>.
- Goetz, J. M. (2022). What do we know about rural and informal non-farming labour? Evidence from a mixed methods study of artisanal and small-scale mining in Northwest Tanzania. *World Development*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2022.106012>.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (1999). *Análisis multivariante* (5ta ed.). Prentice Hall.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (s.f.). Sistema de Consulta - IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI.

- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2023). Compendio Estadístico Puno 2023. INEI. <https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/4134032-compendio-estadistico-puno-2023>.
- Jabbar, M. A., Beyene, H., Saleem, M., & Gebreselassie, S. (1998). Adoption Pathways for New Agricultural Technologies: An Approach and an Application to Vertisol Management Technology in Ethiopia.
- Kalaitzandonakes, N., Carayannis, E., Grigoroudis, E., & Rozakis, S. (2018). From agriscience to agribusiness Theories. Policies and practices in technology transfer and commercialization. <http://www.springer.com/series/8124>.
- Lartey, F. M. (2020). Predicting Product Uptake Using Bass, Gompertz, and Logistic Diffusion Models: Application to a Broadband Product. *Journal of Business Administration Research*, 9(2), 5. <https://doi.org/10.5430/jbar.v9n2p5>.
- León-Velarde, C., & Quiroz, R. (1994). Análisis de Sistemas Agropecuarios: Uso de métodos biomatemáticos. CONDESAN (CIP-CIID-CIRNMA).
- Lobell, D. B., & Gourdji, S. M. (2012). The Influence of Climate Change on Global Crop Productivity. *Plant Physiology*, 160(4), 1686–1697. <https://doi.org/10.1104/pp.112.208298>.
- López Rodríguez, S., van Bussel, L. G. J., & Alkemade, R. (2024). Classification of agricultural land management systems for global modeling of biodiversity and ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 360, 108795. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108795>.
- Macdonald, J. M., Korb, P., & Hoppe, R. A. (2013). United States Department of Agriculture Farm Size and the Organization of U.S. Crop Farming. [www.ers.usda.gov/topics/farm-economy/farm-structure-organization.aspx](http://www.ers.usda.gov/topics/farm-economy/farm-structure-organization.aspx).
- Peña, D. (2002). *Análisis de datos multivariantes*. McGraw Hill.
- Rogers, E. M. (1983). *Diffusion of innovations* (3ra ed.). Macmillan Co.
- Rogers, E. M., Singhal, A., & Quinlan, M. M. (2019). Diffusion of innovations. In *An Integrated Approach to Communication Theory and Research* (3rd ed., pp. 415–433). Taylor and Francis. <https://doi.org/10.4324/9780203710753-35>.
- SAS Institute Inc. (2023). SAS. [https://www.sas.com/es\\_mx/software/on-demand-for-academics.html](https://www.sas.com/es_mx/software/on-demand-for-academics.html).
- Solomon, D., Ishtiaque, A., Agarwal, A., Gray, J. M., Carmen Lemos, M., Moben, I., Singh, B., & Jain, M. (2024). The role of rural circular migration in shaping weather risk management for smallholder farmers in India, Nepal, and Bangladesh. *Global Environmental Change*, 89, 102937. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2024.102937>.
- Sumner, D. A., Alston, J. M., & Glauber, J. W. (2010). Evolution of the Economics of Agricultural Policy. *American Journal of Agricultural Economics*, 92(2), 403–423. <https://doi.org/10.1093/ajae/aaq015>.
- Taonda, A., Zerbo, I., N'Guessan, A. E., Traoré, I. C. E., Kassi, J. N. 'Dja, & Thiombiano, A. (2024). Effects of land use and climate on the diversity and population structure in natural stands of *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (Fabaceae) in Burkina Faso (West Africa). *Global Ecology and Conservation*, 51. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e02909>.
- Tatis Diaz, R., Pinto Osorio, D., Medina Hernández, E., Moreno Pallares, M., Canales, F. A., Corrales Paternina, A., & Echeverría-González, A. (2022). Socioeconomic determinants that influence the agricultural practices of small farm families in northern Colombia. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(7), 440–451. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.12.001>.

- Van Den Bosch, M. E. (2020). Estructura agraria, transformaciones y procesos territoriales: Una revisión conceptual. <https://www.researchgate.net/publication/343720159>.
- Williams, T. (1994). Identifying target groups for livestock improvement research: The classification of sedentary livestock producers in western Niger. *Agricultural Systems*, 46.
- Zerbo, I., Balima, L. H., Guuroh, R. T., & Thiombiano, A. (2024). Impact of climate, land management and harvesting patterns on the ecological traits and the population structure of *Pterocarpus lucens* in West African semi-arid areas. *Environmental Challenges*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.101012>.

**Anexo****Anexo 1. Superficie cosechada (ha).**

## Superficie cosechada (Ha.)

<b>Campaña agrícola</b>	<b>Avena forrajera</b>	<b>Alfalfa</b>
1996/1997	18537	5095
1997/1998	26999	5223
1998/1999	28029	5111
1999/2000	29195	5349
2000/2001	24533	5479
2001/2002	38460	5935
2002/2003	37936	6121
2003/2004	38833	6881
2004/2005	40873	7570
2005/2006	43915	9632
2006/2007	44717	10250
2007/2008	45318	13695
2008/2009	51139	15960
2009/2010	50940	19382
2010/2011	53402	26970
2011/2012	53776	28716
2012/2013	56978	33299
2013/2014	59946	36186
2014/2015	62162	42231
2015/2016	63075	47180
2016/2017	68040	55406
2017/2018	75165	59242
2018/2019	75010	64664
2019/2020	76086	71146
2020/2021	76983	80138
2021/2022	79137	91617

Fuente: Gerencia Regional de Desarrollo Agrario de Puno.