

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS, ADMINISTRATIVAS
Y CONTABLES**

ESCUELA PROFESIONAL DE ECONOMÍA



TESIS:

**Crecimiento económico en la degradación ambiental
en la macroregión centro del Perú, 2009 - 2023.**

Para optar el título profesional de:

ECONOMISTA

PRESENTADO POR:

Bach. Geraldine Ericka CIPRIAN RODRIGUEZ

Bach. Brenda Milene HUARCAYA CHUCHON

ASESOR:

Mg. Richard ATAQ QUISPE

AYACUCHO - PERÚ

2026

DEDICATORIA

A Dios por darme fortaleza en cada paso. A mi madre Julia, por su esfuerzo y amor incondicional; a mi padre Rodrigo, por estar siempre presente apoyándome; a mi abuelito Constantino, por creer en mí desde el inicio de mi formación; a mis padrinos Teresa y Daniel, quienes han sido parte fundamental de mi vida desde la infancia; a mis hermanas Pilar y Carmen, por su cariño constante. A Diego, por su apoyo, compañía y por ser mi refugio en los momentos más difíciles. A mi tía Elva y mi tío Silvano, por cuidarme y hacerme sentir como una hija más; a mi tía Katty y mi tío Edgar, por acogerme con tanto afecto; y a mi tía Luz y mi tía Emilia, por su apoyo y cariño incondicional. A mis amigas de la universidad, por los momentos inolvidables compartidos. Con todo mi cariño, este proyecto es para ustedes.

Brenda Milene

A Dios, por darme la fuerza, la sabiduría y la fe necesaria para llegar hasta aquí. A mis padres, Ericka y Amador, por su amor incondicional, sus sacrificios y por ser mi mayor inspiración. A mis hermanos, Enrique y Estefano, por su apoyo constante y compañía en todo momento. A mi familia, por creer en mí y estar siempre presente. A mis amigas de la universidad, Brit, Teffa y Mica, gracias por cada risa, por su cariño y por estar en este viaje. Y en especial, a Brenda, mi compañera de este camino, gracias por tu compromiso, tu amistad y por compartir este logro a mi lado. Esto es para ustedes, con todo mi corazón.

Geraldine Ericka

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, nuestro segundo hogar, gracias por acogernos, formarnos y permitirnos crecer profesional y personalmente durante estos años. Por ser el espacio donde sembramos sueños, superamos desafíos y construimos los cimientos de nuestro futuro.

A nuestro asesor, el Mg. Richard Atao Quispe, por su guía constante, por creer en nuestro trabajo y orientarnos con paciencia y sabiduría a lo largo de este proceso.

De manera muy especial, al profesor Paul Villar Andía, por su dedicación, exigencia y compromiso con nuestra formación. Gracias por acompañarnos en cada paso, por inspirarnos a dar siempre lo mejor y por enseñarnos que el verdadero aprendizaje se construye con pasión y esfuerzo.

Finalmente, a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron con el desarrollo de la investigación, gracias por ser parte esencial de este logro.

RESUMEN

El propósito del actual trabajo investigativo fue determinar la influencia del crecimiento económico en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, 2009 – 2023, bajo el enfoque de la curva de Kuznets ambiental (CKA). La metodología empleada fue aplicada, cuantificable, descriptiva – explicativa y sin experimentación, además, los datos recolectados mediante una ficha de registro (105 observaciones) fueron analizados mediante un modelo econométrico de datos de panel. Los hallazgos exhibieron que, el PBI pc tiene una influencia positiva (2.04) y significativa al 95% sobre la degradación ambiental, además, al expresar el PBI en términos cuadráticos, sigue siendo una variable significativa al 95% y con coeficiente negativo (-0.42), lo que significa que a mayores niveles de PBI per cápita la influencia marginal sobre la huella ecológica disminuye. Debido a ello, se concluye que, se cumple la CKA, ya que, inicialmente al incrementar el PBI, la huella ecológica también se incrementa, pero a partir de cierto punto, un mayor PBI lleva a una reducción de la Huella ecológica, es decir, el comportamiento toma la forma de una U invertida.

Palabras clave: Crecimiento económico, degradación ambiental, huella ecológica, economía regional.

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the influence of economic growth on environmental degradation in the central macroregion of Peru from 2009 to 2023, using the environmental Kuznets curve (EKC) approach. The methodology used was quantifiable, descriptive and explanatory, and without experimentation. Furthermore, data collected using a registration form (105 observations) were analyzed using a panel data econometric model. The findings showed that GDP pc has a positive influence (2.04) and is significant at 95% on environmental degradation. Furthermore, when GDP is expressed in quadratic terms, it remains a significant variable at 95% and has a negative coefficient (-0.42), meaning that at higher levels of GDP per capita, the marginal influence on the ecological footprint decreases. Due to this, it is concluded that the CKA is fulfilled, since, initially when the GDP increases, the ecological footprint also increases, but from a certain point, a higher GDP leads to a reduction in the ecological footprint, that is, the behavior takes the form of an inverted U.

Keywords: Economic growth, environmental degradation, ecological footprint, regional economy.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
INTRODUCCIÓN	12
I. REVISION DE LA LITERATURA	18
1.1. Marco Histórico	18
<i>1.1.1. Degradación ambiental.....</i>	<i>18</i>
<i>1.1.2. Crecimiento económico.....</i>	<i>20</i>
1.2. Marco Referencial	22
<i>1.2.1. A nivel internacional.....</i>	<i>22</i>
<i>1.2.2. A nivel nacional.....</i>	<i>25</i>
1.3. Sistema Teórico.....	26
<i>1.3.1. Crecimiento económico.....</i>	<i>27</i>
<i>1.3.2. Degradación ambiental.....</i>	<i>33</i>
<i>1.3.3. Crecimiento económico y degradación ambiental.....</i>	<i>38</i>

<i>1.3.4. Población como variable de control</i>	<i>44</i>
<i>1.3.5. Tasa de urbanización como variable de control</i>	<i>45</i>
<i>1.3.6. Comparación interregional.....</i>	<i>46</i>
1.4. Marco Conceptual	48
1.5. Marco Legal	52
<i>1.5.1. Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente (2005)</i>	<i>52</i>
<i>1.5.2. Ley N° 30884 - Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables (2018).....</i>	<i>53</i>
II. MATERIALES Y MÉTODOS	55
2.1. Tipo y Nivel de Investigación.....	55
2.2. Diseño de Investigación	55
2.3. Población y Muestra.....	56
2.4. Fuente de Información	56
2.5. Técnicas e Instrumentos.....	58
<i>Fundamentación matemática del modelo:.....</i>	<i>59</i>
<i>Especificación econométrica del modelo:</i>	<i>61</i>
2.6. Operacionalización de variables y dimensiones.....	65
III. RESULTADOS	66
3.1. Resultados a nivel descriptivo	66
3.2. Resultados a nivel inferencial.....	94

3.2.1. <i>Estadística Descriptiva</i>	95
3.2.2. <i>Estimación y Selección del Modelo</i>	99
3.2.3. <i>Contrastación de la Hipótesis General:</i>	106
3.2.4. <i>Contrastación de la hipótesis específica 1:</i>	112
3.2.5. <i>Contrastación de la Hipótesis Específica 2:</i>	118
3.2.6. <i>Contrastación de la Hipótesis Específica 3:</i>	123
I. DISCUSIÓN	129
II. CONCLUSIONES	134
III. RECOMENDACIONES	136
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
ANEXOS	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Estadísticos descriptivos de las variables de estudio</i>	96
Tabla 2 <i>Resultados de la prueba de Hausman para la selección del modelo de datos de panel</i>	100
Tabla 3 <i>Estimación del modelo mediante el estimador de Driscoll-Kraay con variables winsorizadas</i>	103
Tabla 4 <i>Estimación del modelo parsimonioso</i>	104
Tabla 5 <i>Estimación del modelo con la incorporación de la variable dicotómica de la pandemia de COVID-19 (2020)</i>	105
Tabla 6 <i>Resultados de la estimación del modelo para la contrastación de la hipótesis general</i>	107
Tabla 7 <i>Cálculo del punto de inflexión correspondiente a la hipótesis general</i>	109
Tabla 8 <i>Resultados de la estimación del modelo para la contrastación de la hipótesis específica 1</i>	112
Tabla 9 <i>Cálculo del punto de inflexión correspondiente a la hipótesis específica 1</i>	115
Tabla 10 <i>Resultados de la estimación del modelo para la contrastación de la hipótesis específica 2</i>	118
Tabla 11 <i>Estimación mediante efectos aleatorios para la hipótesis específica 2 sin el término cuadrático del PBI</i>	120
Tabla 12 <i>Resultados de la estimación del modelo para la contrastación de la hipótesis específica 3</i>	124
Tabla 13 <i>Cálculo del punto de inflexión correspondiente a la hipótesis específica 3</i>	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Curva de Kuznets ambiental</i>	43
Figura 2 <i>PBI pc (total y sectorial) en comparación con la huella ecológica en la región de Apurímac, 2009 – 2023</i>	68
Figura 3 <i>PBI pc (total y sectorial) en comparación con la huella ecológica en la región de Huancavelica, 2009 – 2023</i>	70
Figura 4 <i>PBI pc (total y sectorial) en comparación con la huella ecológica en la región de Junín, 2009 – 2023</i>	72
Figura 5 <i>PBI pc (total y sectorial) en comparación con la huella ecológica en la región de Ica, 2009 – 2023</i>	74
Figura 6 <i>PBI pc (total y sectorial) en comparación con la huella ecológica en la región de Ayacucho, 2009 – 2023</i>	76
Figura 7 <i>PBI pc (total y sectorial) en comparación con la huella ecológica en la región de Huánuco, 2009 – 2023</i>	78
Figura 8 <i>PBI pc (total y sectorial) en comparación con la huella ecológica en la región de Pasco, 2009 – 2023</i>	80
Figura 9 <i>PBI pc total promedio en la macro región centro del Perú, 2009 – 2023 (en miles de soles)</i>	82
Figura 10 <i>PBI pc del sector primario promedio en la macro región centro del Perú, 2009 – 2023 (en miles de soles)</i>	83
Figura 11 <i>PBI pc del sector secundario promedio en la macro región centro del Perú, 2009 – 2023 (en miles de soles)</i>	84

Figura 12 <i>PBI pc del sector terciario promedio en la macro región centro del Perú, 2009 – 2023 (en miles de soles)</i>	85
Figura 13 <i>Huella ecológica pc promedio en la macro región centro del Perú, 2009 – 2023 (en hectáreas globales)</i>	86
Figura 14 <i>Comportamiento del PBI pc en los departamentos de la Macro Región Centro, 2009 – 2023 (miles de soles por persona)</i>	88
Figura 15 <i>Comportamiento del PBI primario en los departamentos de la Macro Región Centro, 2009 – 2023 (miles de soles por persona)</i>	89
Figura 16 <i>Comportamiento del PBI secundario en los departamentos de la Macro Región Centro, 2009 – 2023 (miles de soles por persona)</i>	90
Figura 17 <i>Comportamiento del PBI terciario en los departamentos de la Macro Región Centro, 2009 – 2023 (miles de soles por persona)</i>	92
Figura 18 <i>Comportamiento de la huella ecológica de los departamentos de la Macro Región Centro, 2009 – 2023 (hectáreas globales)</i>	93
Figura 19 <i>Relación PBI per cápita y Huella Ecológica por Región</i>	97
Figura 20 <i>Matriz de Desempeño Regional</i>	98
Figura 21 <i>Distribución Winsorizada</i>	101
Figura 22 <i>Curva de Kuznets para el objetivo general</i>	110
Figura 23 <i>Curva de Kuznets para el objetivo específico 1</i>	116
Figura 24 <i>Curva de Kuznets para el objetivo específico 2</i>	121
Figura 25 <i>Curva de Kuznets para el objetivo específico 3</i>	127

INTRODUCCIÓN

El agente económico al tratar de satisfacer sus necesidades y alcanzar ciertas expectativas de crecimiento suele generar perturbaciones en el entorno como derivación de una sobreexplotación de los recursos naturales (Pinzón y Guerrero, 2024); ante tal percepción la tierra se posiciona como un recurso esencial para el crecimiento a largo plazo, empero, dado su carácter de disponibilidad limitada y de rendimientos decrecientes suele llegar a ser un medio limitante en los niveles de producción (Ortiz y Gómez, 2021).

Considerando lo descrito, se considera que las naciones en proceso de transición económica al pasar del sector primario al industrial como Tailandia, Corea del Sur o China se encuentran con mayores niveles de contaminación en comparación a las naciones industrializadas como el Reino Unido o Estados Unidos como consecuencia de una optimización de su desarrollo industrial (Solórzano et al., 2022). En ese sentido, globalmente el 80% de la oferta de energía es resultado del uso de combustibles fósiles, siendo en América Latina el 75%; asimismo, el crecimiento del comercio exterior y del consumo doméstico conlleva una mayor producción ganadera y agrícola, la cual es responsable de una alta deforestación, una desertificación de los suelos y del 20% de las emisiones de gases atmosféricos nocivos (Samaniego y Sánchez, 2022).

Por su lado, desde una perspectiva internacional, Ecuador supone una economía dependiente del sector petrolero, pues contribuye en un 12% al PBI y representa el 52% de sus exportaciones, sin embargo, se posiciona como la principal fuente de contaminación contribuyendo con un menos 2% anual del PBI, lo que a pesar de su contribución a la economía y desarrollo de diversos sectores no compensa con la sostenibilidad de los bienes a largo plazo,

poniendo en riesgo la calidad del patrimonio natural (Macas y Macas, 2023). Asimismo, Nicaragua genera emanaciones de dióxido de carbono (CO₂) de 0.71 toneladas métricas (t) con un PBI per cápita de 1,230 dólares anuales, en tanto, Honduras genera emisiones de CO₂ en promedio 0.84 t y un PBI por individuo de 1,479 dólares anuales, a su vez, El Salvador emite 0.94 toneladas métricas y alcanza 2,448 dólares en promedio de PBI per cápita; demostrando que a superiores niveles de crecimiento suponen elevados niveles en la generación de contaminantes (Cerquera et al., 2021).

Adicionalmente, alrededor del 90% de las emanaciones globales de CO₂ son resultado de la quema de hidrocarburos, siendo de sus principales aportantes los países de la Unión Europea, los cuales a pesar de las altas preocupaciones por reducir la concentración de contaminantes y revertir el cambio climático, su crecimiento económico continuo depende de un mayor uso de energía lo que se convierte en mayores emisiones (Radmehr et al., 2021). Por otro lado, la economía de Pakistán depende de la agronomía y con la expansión industrial, la tierra viene sufriendo recortes, lo cual sumado al aumento de la población existe un grave problema de deforestación; además, el incremento de la economía y de los sectores industriales suponen una mayor demanda de energía para su crecimiento provocando una degradación ambiental (Khan et al., 2020).

Por otro lado, desde una perspectiva nacional, el Perú mantiene una estructura productiva donde el 61.2% del PBI es representado por el sector servicios, el 19.2% en una combinación de los sectores de construcción y manufactura; seguido de la minería y agricultura con un aporte de aproximadamente el 17.4%; siendo de manera desagregada la industria manufacturera (12.4%), accionar minero (11.3%), actividad comercial (10.6%), construcción (6.8%) y la agricultura (6.1%), los de mayor aportación a la economía (Embajada de España, 2023), ante tal situación la

nación pretende conservar su capital natural como respuesta de una alta contaminación por residuos sólidos y una deforestación ambiental que lleva alcanzando 203, 272 hectáreas, teniendo a la capital como la quinta ciudad más contaminada de América Latina, como resultado del desorden en el transporte y la falta de rellenos sanitarios (Baylon et al., 2022).

Asimismo, el 61% del territorio peruano se compone de bosques húmedos tropicales, caracterizándose conjuntamente por sus ecosistemas únicos y de altos recursos naturales, sin embargo, el modelo de crecimiento se ha especializado en generar mayores niveles de consumo por medio del uso intensivo de los recursos sin tener consideración la adecuada conservación de estos (Tafur, 2022). En ese sentido, desde la perspectiva de la macroregión centro, cinco de los departamentos que lo componen manejan una huella ecológica menor al promedio nacional de 2.524, tales como Huancavelica (1.064), Pasco (1.367), Huánuco (1.389), Ayacucho (1.433) y Junín (1.784); caso contrario es la región Ica con una huella de 2.531; valores que han incrementado a comparación del periodo 2009, cuya huella ecológica era en todos los casos inferior, Huancavelica con 0.80; Huánuco, 0.94; Pasco, 1.24; Ayacucho, 1.21; Junín, 1.61 e Ica, 1.997 (MINAM, 2024).

Finalmente, con lo expuesto líneas anteriores el crecimiento per cápita de los departamentos de la macroregión centro ha mantenido un crecimiento desde el periodo 2009 al 2023; tal hecho comprobado en Ica pasando de 14 386 soles anuales a 20 232 soles; Junín, de 7 073 a 11 445 soles; Ayacucho, de 5 802 a 16 893 soles; Huánuco, de 4 497 a 8 791 soles; Pasco, de 17 830 a 20 381 soles y Huancavelica, de 6 005 a 10 107 soles; evidenciando que la tendencia a la alza del accionar económico ha venido con un crecimiento paralelo de la huella ecológica, demostrando la utilización de los recursos en una proporción más rápida que la generada por el ecosistema.

En ese sentido, el estudio se planteó como problemática general: ¿Cuál es la influencia del crecimiento económico en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA?; en tanto, como problemas específicos se establecieron las siguientes interrogantes: a) ¿Cuál es la influencia del crecimiento económico del sector primario en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA?, b) ¿Cuál es la influencia del crecimiento económico del sector secundario en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA?, c) ¿Cuál es la influencia del crecimiento económico del sector terciario en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA?

A partir de esto, el objetivo general se estableció como: Determinar la influencia del crecimiento económico en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA. Mientas tanto, como objetivos específicos: a) Determinar la influencia del crecimiento económico del sector primario en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA; b) Determinar la influencia del crecimiento económico del sector secundario en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA; c) Determinar la influencia del crecimiento económico del sector terciario en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA.

Asimismo, la investigación se justifica teóricamente, puesto que, la degradación ambiental y el crecimiento económico son temas de gran trascendencia en el ámbito económico – ambiental. La teoría de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) (Kuznets, 1955) ha demostrado ser una de las más idóneas para tratar el tema de ambas variables en el ámbito económico –

ambiental. Dicho fundamento teórico ha sido ampliamente estudiado y brinda un marco conceptual y teórico para comprender como el crecimiento económico repercute en la degradación ambiental de las regiones de la macroregión centro del Perú. De manera adicional, el actual estudio pretende ahondar en el conocimiento existente dada la escasa atención académica dedicada a la conexión específica entre los constructos en las regiones previamente indicadas. En tal sentido, la intención primordial del trabajo investigativo es contribuir a la literatura existente, así como a la comunidad científica a través de una superior comprensión del tema en la unidad de estudio y la dinámica entre variables; además, y lo que es más relevante, proporcionar hallazgos que sirvan en futuras investigaciones.

Adicionalmente, el estudio se justifica de manera práctica y resulta crucial, ya que, los resultados proporcionan una visión más clara sobre la incidencia del crecimiento económico en la degradación ambiental, esto permite el diseño de políticas regionales más efectivas, orientadas a reducir la huella ecológica mediante la optimización de los procesos en los sectores clave que impulsan la economía de los departamentos de la macroregión centro; de esta forma, se contribuye a la generación de menores externalidades negativas para el medio ambiente, suscitando un desarrollo económico más llevadero y alineado con la conservación de los bienes de la naturaleza.

Inclusive, este trabajo investigativo permite a la sociedad y a la comunidad científica disponer de datos concretos y evidencia empírica que agilicen la determinación de resoluciones informadas en el ámbito de la política ambiental; de este modo, se busca fomentar un debate académico y social que conduzca al diseño de políticas gubernamentales efectivas y orientadas a mitigar los impactos negativos del desarrollo económico, promoviendo un modelo de

crecimiento sostenible y equitativo que armonice las necesidades de progreso con la conservación de los bienes de la naturaleza y el bienestar de las generaciones futuras.

Además, la justificación metodológica de la investigación se sustenta en la empleabilidad de un modelo de datos panel, cuya ecuación de estimación se apoya en la teoría de la CKA, este marco teórico económico provee una base firme para la interpretación de los resultados, garantizando la validez de los hallazgos y su relevancia en la formulación de recomendaciones orientadas a mitigar la degradación ambiental en el contexto del crecimiento económico; además, los resultados sirven como antecedente valioso para futuros estudios que aborden problemáticas similares, contribuyendo al avance del conocimiento en este campo.

Por último, se planteó la siguiente hipótesis general: El crecimiento económico influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA. En tanto, como hipótesis específicas: a) El crecimiento económico del sector primario influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA; b) El crecimiento económico del sector secundario influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA; y c) El crecimiento económico del sector terciario influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA.

I. REVISION DE LA LITERATURA

1.1. Marco Histórico

1.1.1. *Degradación ambiental*

De acuerdo con Guevara (2008), la tierra yace desde hace 3000 o 4000 millones de años y en ese entonces, estaba compuesta por océanos, debido a ello, era un planeta oscuro porque existía poca proporción de tierra y nubes; además, el sol presentaba 25% menos de luminosidad. Por otro lado, el periodo de hace 2000 millones de años era tomado en consideración como la “*Edad del Oro*”, dado que, el calor del sol era conveniente para la vida, inclusive, no existía la necesidad de mucha regulación.

Después de ello, unos 1000 años después y luego del advenimiento del oxígeno, nace la “*Edad Oscura*”, donde los únicos organismos presentes eran unicelulares; luego, suceden las “*Edades Glaciales del Pleistoceno*”, donde se evidenciaba abundante vegetación arbórea y alternancia de periodos asociados a interglaciares y glaciares, por lo cual, se asumen que existió variación de la biodiversidad, lo cual, destaca que la calidad de la biodiversidad y ambiente no son directamente proporcionales; debido a ello, los cambios drásticos que causaron los glaciares en el paisaje y la biodiversidad tienen paralelismos con los efectos de la degradación ambiental moderna inducida por el ser humano (Guevara, 2008).

En la etapa del “*Neolítico*”, se evidencia el establecimiento de la agronomía y la domesticación de animales; es así que, humanidad consigue gestionar reservas de alimentos, dejando de depender de los excedentes naturales obtenidos mediante la recolección, por lo que, abandona un nicho más en la biosfera y se convierte en una especie capaz de incrementar constantemente su población más allá de cualquier previsión ecológica; además, puede aumentar

su consumo de energía extrasomática o exosomática, dirigido a la creación de artefactos culturales en lugar de centrarse en la supervivencia (Pearce y Turner, 1995).

Luego, durante el siglo XIX, con la revolución industrial, comenzó a observarse el efecto negativo del accionar humano en el ambiente, donde, se reconocieron problemas como la polución atmosférica y acuática, la destrucción de ecosistemas forestales y el menoscabo de riqueza biológica (Oliveros et al., 2021); por otro lado, a principios del siglo XX, la preocupación por el ambiente creció, especialmente en los países industrializados, debido a ello, el término “degradación ambiental” comenzó a utilizarse para describir la aniquilación de ecosistemas naturales y la pérdida de recursos debido al accionar del ser humano como la minería, la agricultura intensiva y la urbanización (Estenssoro, 2007).

En 1960, Rachel Carson jugó un papel importante al despertar la conciencia pública sobre los efectos dañinos de los plaguicidas en el entorno; asimismo, dicho periodo vio el surgimiento de movimientos ecologistas y un aumento significativo en la investigación y la literatura sobre temas ambientales (Carson, 1962). Después de ello, en la década de 1970, la degradación ambiental se constituyó en un asunto de interés prominente a nivel global, por lo cual, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano marcó un hito en la conciencia y acción internacional sobre el medio ambiente, donde se reconoció oficialmente que la degradación ambiental era una preocupación global que requería cooperación internacional (Naciones Unidas, 1973).

En lo sucesivo, y, a finales del siglo XX y principios del XXI, la degradación ambiental se entendió como un fenómeno multidimensional que abarca la contaminación, la destrucción de ecosistemas forestales, la pérdida de riqueza biológica, la alteración climática, entre otros

(Vargas, 2005). Por último, y, en la actualidad, la degradación económica está conceptualizada como la disminución de la aptitud del ambiente para satisfacer las necesidades socio – ecológicas; además de ello, toma en cuenta una amplia gama de problemas, desde la contaminación atmosférica y acuática hasta la pérdida de hábitats y la variación climática; inclusive, refleja una perspicacia recóndita de las interconexiones entre el accionar humano y los ecosistemas naturales (Mackenbach, 2007).

1.1.2. Crecimiento económico

En primer lugar, Adam Smith en *“La riqueza de las naciones”* (1776), introdujo la metáfora de la “mano invisible”, sugiriendo que el interés propio de los individuos puede beneficiar a la colectividad; asimismo, discurría que el trabajo es la fuente de valor y riqueza y veía la intervención estatal en la economía como inútil o perjudicial (López, 2021; Ruiz, 2020). Por otro lado, Thomas Malthus, en su *“Ensayo sobre el principio de la población”* (1798), argumentó que el crecimiento de la urbe contrarrestaría los avances agrícolas, manteniendo a gran parte del mundo en la pobreza y el hambre.

Por su parte, David Ricardo señaló que la introducción de capital y avances tecnológicos estimularían el crecimiento económico, especialmente en tierras menos fértiles (Enríquez, 2016); mientras que, Karl Marx vio la plusvalía como el origen de la concentración de recursos financieros y Joseph Schumpeter destacó el proceso de “destrucción creativa” del capitalismo, que impulsa la innovación tecnológica continua (Quevedo, 2019; Enríquez, 2016).

Luego, John Maynard Keynes en 1943 argumentó que el capitalismo, si se deja a sus propias fuerzas, produce desequilibrios, desempleo e inequidades económicas. Propuso que el crecimiento con equilibrio y pleno empleo es inalcanzable sin intervención estatal; además,

distinguió entre ahorro (renuncia al consumo presente) e inversión (aumento del capital productivo) (Robinson, 2022). En 1939, Roy Harrod introdujo el modelo de crecimiento Harrod – Domar, que relaciona el crecimiento de la producción con la demanda, y fue posteriormente desarrollado por Evsey Domar, sentando los cimientos de la teoría del crecimiento de la economía de la posguerra (Enríquez, 2016).

Por otra parte, la teoría neoclásica del crecimiento, desplegada por Robert Solow y Trevor Swan en la década de 1950, se centra en el acopio de capital tangible e intelectual como motores del crecimiento de la economía, donde dichos autores destacaron la trascendencia del capital humano (habilidades y nivel educativo) para producir saberes nuevos que mejoren el aprovechamiento del capital y promuevan el crecimiento de la economía (Enríquez, 2016).

Después de ello, la teoría poskeynesiana sugiere que los sueldos y el índice de retorno del capital se trasladan en direcciones opuestas, y que la vinculación entre crecimiento y colocación del ingreso condiciona la equidad en la intervención del progreso técnico, por lo cual, la teoría resalta la trascendencia de la colocación del ingreso en el crecimiento de la economía (Cerezo y Landa, 2021).

En lo sucesivo, las teorías del crecimiento endógeno, desarrolladas desde la década de los 80 y 90, rompen con el esquema neoclásico al eliminar la tendencia a largo plazo del capital a experimentar rendimientos decrecientes; dado que, plantean que la adquisición de habilidades humanas mediante del aprendizaje y la difusión del conocimiento permite un crecimiento económico sostenido, por ende, tales teorías recalcan la trascendencia de la innovación y el capital humano como factores que inducen el crecimiento (Varela, 2022).

Por su parte, la teoría evolucionista del crecimiento económico se basa en el proteccionismo industrial para aliviar la presión sobre la balanza de pagos y fomentar el crecimiento del PBI, inclusive, defiende la intervención del estado para proteger y promover industrias clave, lo cual, contribuye al crecimiento económico a largo plazo (Cepeda y López, 2021).

Finalmente, el enfoque socioeconómico en América Latina ha estado históricamente en la periferia de los debates internacionales; entre 1948 y 1970, la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), bajo la orientación de Raúl Prebisch, promovió medidas económicas defensivas durante recesiones globales, incluso si estas contradecían las normas del multilateralismo, donde el autor argumentó que estas medidas eran necesarias para proteger las economías latinoamericanas y fomentar su crecimiento (López, 2020).

1.2. Marco Referencial

1.2.1. A nivel internacional

Martinez (2020) en su estudio presentó el fin de examinar el impacto del crecimiento de la economía en la huella ecológica de Latinoamérica y Unión Europea, 1971 – 2014, para ello, emplearon un método cuantificable, sin intervención directa, explicativa y longitudinal; a la vez, ejecutó un modelo de datos panel. Los hallazgos colocaron en evidencia que, la liberalización del comercio desempeña un papel crucial en mitigar las consecuencias adversas del crecimiento de la economía sobre el entorno. Por ende, concluyó que, la conexión entre el PBI pc y la huella ecológica pc describe una curva en forma de U, precisando que las ventajas obtenidas en la reducción de la huella ecológica asociadas con un superior crecimiento de la economía son temporales.

Quinde et al. (2021) en su estudio conservaron la intención de evaluar la vinculación entre el PBI por individuo y el CO₂ en las naciones pertenecientes del G – 8, 1960 - 2011. La metodología utilizada fue cuantificable, sin experimentación, explicativa y longitudinal; a la vez, desplegaron un modelo econométrico VAR. Los hallazgos manifestaron que, hay una relación de manera empírica entre los niveles de contaminación del ambiente de los países y su alcance en cláusulas asociadas al despliegue económico. Por lo cual, concluyeron que, existe un vínculo unidireccional por parte del PBI por individuo al CO₂.

Godínez et al. (2021) en su estudio tuvieron la intención de establecer si el crecimiento de la economía contribuye con la degradación del ambiente en México, 2003 – 2007. Acorde a ello, el sistema metódico fue cuantificable, sin intervención directa, explicativo y longitudinal; asimismo, efectuaron un modelo econométrico MCO. Los hallazgos manifestaron que, hay una conexión directa entre los constructos de estudio. Por ende, concluyeron que, ante el incremento de una unidad porcentual del PBI pc, la degradación del ambiente crecerá en 675204660 hg, aproximadamente.

Azorín (2021) en su estudio mantuvo el fin de examinar la conducta de las emanaciones de CO₂ acorde al crecimiento de la economía en India, 1971 – 2017. La metodología utilizada fue cuantificable, sin experimentación, longitudinal y explicativa; a la vez, aplicó un modelo econométrico MCO. Los hallazgos demostraron que, las emanaciones de CO₂ presentaron una propensión creciente al igual que el crecimiento de la economía, cuantificada por el PBI pc. Por lo cual, concluyó que, existe una vinculación lineal, monótona y creciente entre las emanaciones de CO₂ y el PBI pc.

Tocalema (2022) en su estudio indicó como finalidad examinar el vínculo entre la huella ecológica y el PBI de la economía ecuatoriana, 2008 – 2017. Por lo cual, manejó un enfoque cuantificable, sin experimentación, explicativo y longitudinal. Los hallazgos manifestaron que, los constructos presentaron un parámetro de asociación equivalente a -0.007 , lo cual, indica que el nexo es negativo y muy bajo; sin embargo, el vínculo entre biocapacidad y PBI fue negativo – fuerte ($r = -0.805$). Debido a ello, concluyó que, la huella ecológica nunca excedió la biocapacidad, lo que implica que el país mantuvo un superávit ecológico.

Navarro et al. (2023) en su investigación presentaron el fin de analizar la conducta del crecimiento de la economía y la contaminación del ambiente de América del Norte, 1995 – 2019. Metodológicamente, el estudio fue cuantificable, sin intervención directa, explicativo y longitudinal. Los hallazgos colocaron en evidencia que, aunque como región los EE.UU., Canadá y México mostraron un parámetro de crecimiento superior al promedio del Foro de Cooperación Económica Asia Pacífico, individualmente todavía se encuentran por debajo del desempeño de otras economías. Finalmente, concluyeron que, hay una correlación entre las variaciones del PBI de las unidades de análisis y las emanaciones de CO_2 .

Acheampong y Osei (2023) en su investigación tuvieron el objetivo de examinar si el aumento de la degradación del entorno está asociado con el crecimiento de la economía, 1980 – 2021. Metodológicamente, fue un estudio cuantificable, sin experimentación, longitudinal y explicativo; a la vez, desplegaron un modelo econométrico de panel de datos con un grupo muestral equivalente a 140 países. Los hallazgos manifestaron que, existe un efecto retardador de la degradación del entorno sobre el crecimiento de la economía. Debido a ello, concluyeron que, las emisiones exhiben una asociación en forma de U invertida con el crecimiento de la economía.

1.2.2. A nivel nacional

Olascoaga (2020) en su trabajo investigativo tuvo el fin de identificar si el crecimiento de la economía ostenta contribuciones al incremento o descenso de los niveles de emanaciones de CO₂ en el Perú, 2000 – 2017. Acorde a ello, el sistema metódico fue cuantificable, sin intervención directa, explicativo y longitudinal; asimismo, perpetró un modelo econométrico MCO. Los hallazgos manifestaron que, variables como CO₂ y parámetro Gini son producidas de manera significativa por el PBI pc. Por ende, concluyó que, ante un incremento del 1% del PBI por individuo, las emanaciones de CO₂ aumentarían en 93.82%, aproximadamente.

Durand y Koc (2021) en su investigación tuvieron la intención de examinar el efecto del incremento del ingreso pc sobre la contaminación del ambiente en el Perú, 1980 – 2019. Metodológicamente, fue un estudio cuantificable, sin experimentación, longitudinal y explicativo; a la vez, desplegaron un modelo econométrico de modelos vectoriales autorregresivos. Los hallazgos manifestaron que, el crecimiento de la economía, cuantificado por el PBI pc, influyó de manera significativa en los niveles de contaminación del entorno, cotejado por un nivel de significación menor al 0.05. Debido a ello, concluyeron que, no se cumplió la U invertida de la CKA, puesto que, la unidad de análisis es una nación que se encuentra en desarrollo.

Fabian y Fernández (2022) en su estudio conservaron la intención de instituir la incidencia del crecimiento de la economía sobre la contaminación del ambiente en Perú, 1960 – 2020. La metodología utilizada fue cuantificable, sin experimentación, explicativa y longitudinal; a la vez, desplegaron un modelo econométrico de mínimos cuadrados dinámicos generalizados. Los hallazgos manifestaron que, el accionar económico exhibió una propensión

creciente durante el periodo de análisis al igual que las emisiones de CO₂. Por lo cual, concluyeron que, ante un acrecentamiento del crecimiento de la economía en 1%, incrementa las emisiones de CO₂ en 1.01%, aproximadamente.

Jara (2023) en su estudio exhibió el fin de establecer la causalidad entre el crecimiento de la economía y la degradación del ambiente en las jurisdicciones del Perú, 2003 – 2016. Metodológicamente, el estudio fue cuantificable, sin intervención directa, explicativo y longitudinal; además de ello, se aplicó dos modelos econométricos: VECM y ARDL. Los hallazgos colocaron en evidencia que, el PBI per cápita nacional conservó una propensión creciente, a la vez, el incremento durante el periodo de análisis fue equivalente a 101.37%; entre tanto, la degradación del entorno, medida por la huella ecológica, manifestó un aumento de 42.58%. Finalmente, concluyó que, ante un incremento del PBI por individuo en 1000 soles, la huella ecológica por individuo se acrecentará en 0.15 hg.

Cariño (2023) en su estudio mantuvo el fin de examinar la vinculación entre el crecimiento de la economía y la calidad del ambiente en las regiones del Perú, 2006 – 2020. La metodología utilizada fue cuantificable, sin experimentación, longitudinal y explicativa; a la vez, destinó un modelo econométrico de panel dinámico. Los hallazgos demostraron que, elementos como el índice de desempleo, producción eléctrica y cuantía de vehículos conservaron una repercusión notable en las emisiones de CO₂. Por lo cual, concluyó que, la concentración de ingresos tuvo un efecto indirecto sobre el constructo dependiente.

1.3. Sistema Teórico

El actual trabajo investigativo se fundamentó principalmente en la Curva de Kuznets Ambiental (CKA), la cual postula una relación entre el crecimiento económico y el deterioro

ambiental, representada gráficamente como una curva en forma de “U” invertida, este modelo teórico sostiene que, en las primeras etapas de desarrollo, el incremento de la actividad económica tiende a generar mayores presiones sobre el medio ambiente; sin embargo, una vez alcanzado un umbral de ingreso per cápita, la tendencia se revierte debido a la adopción de tecnologías más limpias, la implementación de regulaciones ambientales más estrictas y una mayor conciencia ecológica en la sociedad (Kuznets, 1955). Bajo este enfoque, el análisis permitirá comprender cómo la dinámica económica influye en la huella ecológica y evaluar si el patrón observado en el contexto de estudio se ajusta al comportamiento planteado por la CKA.

1.3.1. Crecimiento económico

Primero, y, según Antunez (2009), el crecimiento económico es el aumento sostenido de la producción de artículos y prestaciones de una economía en un rango temporal, debido a ello, estará medido por el PBI, de manera específica por el PBI per cápita, conceptualizado como el parámetro económico que mide el promedio de la elaboración de mercancías y prestaciones generadas por un país en un año, dividido entre la población nacional.

Teoría del crecimiento endógeno

Enfoque económico que sostiene que el crecimiento a largo plazo de una economía es principalmente el efecto de causas internas en lugar de factores externos; asimismo, fue desarrollada en la década de 1980 como una extensión y crítica de la Teoría del Crecimiento Neoclásica, por lo cual, enfatiza el papel de la inversión en capital humano, innovación tecnológica y conocimiento como motores clave del crecimiento económico sostenido (Moreno, 2021). Según esta perspectiva, las políticas gubernamentales y las condiciones institucionales repercuten significativamente en el crecimiento económico mediante la difusión de la educación,

la I + D, y la creación de un entorno favorable para la innovación y el emprendimiento (Lara et al., 2023).

El modelo de crecimiento endógeno de Romer plantea que el progreso económico sostenido se explica fundamentalmente por la acumulación de conocimiento y la innovación tecnológica, entendidas como bienes no rivales y parcialmente excluibles (Beltrán et al., 2018); de esta forma, el avance tecnológico no es un factor externo como en el modelo de Solow, sino el resultado de decisiones económicas e inversión en investigación y desarrollo (I + D).

En este marco, la producción de bienes finales se describe mediante una función de tipo Cobb – Douglas, donde la producción total Y depende del capital físico K y del trabajo efectivo AL_Y , siendo A el nivel de conocimiento disponible y L_Y el trabajo destinado a la producción de bienes. La expresión correspondiente es:

$$Y = K^{\alpha}(AL_Y)^{1-\alpha}$$

donde $0 < \alpha < 1$ representa la participación del capital en la producción. El término AL_Y refleja que la productividad laboral aumenta proporcionalmente con el conocimiento acumulado.

El avance del conocimiento se genera en un sector específico de investigación, cuya dinámica está dada por la ecuación:

$$\dot{A} = \delta AL_A$$

En ella, $\dot{A}$ indica la variación del stock de conocimiento, δ representa la productividad de la investigación y L_A corresponde al número de trabajadores dedicados a I + D, esta formulación muestra un efecto de rendimientos crecientes: cuanto mayor es el conocimiento previo (A), más fácil resulta producir nuevas ideas.

La fuerza laboral total L se distribuye entre producción de bienes y producción de conocimiento, de manera que $L = L_Y + L_A$. Si se asume que una fracción constante ϕ de los trabajadores se dedica a $I + D$, entonces $L_A = \phi L$ y $L_Y = (1 - \phi)L$.

Al sustituir $L_A = \phi L$ en la ecuación de acumulación de conocimiento, se obtiene la tasa de crecimiento del stock de ideas:

$$gA = \frac{\dot{A}}{A} = \delta \phi L$$

En equilibrio de largo plazo, esta tasa de crecimiento del conocimiento (gA) coincide con la tasa de crecimiento per cápita de la economía (gY), por lo que:

$$gY = gA = \delta \phi L$$

En consecuencia, el modelo predice que economías con mayor tamaño poblacional (L), mayor proporción de trabajadores dedicados a la investigación (ϕ) y mayor productividad investigadora (δ) presentan un crecimiento económico más rápido y sostenido. Desde la perspectiva de política económica, esto implica que la inversión en educación, tecnología y actividades de $I + D$ es determinante para potenciar el desarrollo a largo plazo, dado que estas variables inciden directamente en la tasa de crecimiento de la economía.

Teoría del crecimiento exógeno

Fue formulada principalmente por Robert Solow en la década de 1950 y sostiene que el crecimiento económico a plazo extendido está determinado por factores externos al sistema económico, tales como el progreso tecnológico, que se considera exógeno e independiente de las decisiones económicas internas; además, precisa que, el crecimiento es impulsado por el acopio de capital y el aumento de la mano de obra, pero estos factores eventualmente enfrentan

rendimientos decrecientes, por lo que, el progreso tecnológico se convierte en el eje central del crecimiento sostenible; finalmente, sugiere que, aunque las políticas gubernamentales pueden influir en el nivel de producción y el acopio de capital a plazo cercano, el crecimiento a plazo extendido pende de elementos fuera del control directo de los agentes económicos y las instituciones nacionales (Labarca et al., 2021).

La función de producción se formula bajo el enfoque Cobb – Douglas, donde el producto total $Y(t)$ en el tiempo t depende del capital físico $K(t)$, el trabajo efectivo $A(t)L(t)$ y presenta rendimientos constantes a escala:

$$Y(t) = K(t)^\alpha [A(t)L(t)]^{1-\alpha}$$

donde $0 < \alpha < 1$ representa la elasticidad del producto respecto al capital, $L(t)$ es la población ocupada y $A(t)$ es el nivel de tecnología. El término $A(t)L(t)$ captura el concepto de trabajo efectivo, que crece a una tasa exógena g debido al progreso tecnológico.

La acumulación de capital está dada por la ecuación diferencial:

$$\dot{K}(t) = sY(t) - \delta K(t)$$

donde s es la tasa de ahorro (fracción del producto destinada a inversión) y δ es la tasa de depreciación del capital; además, la fuerza laboral crece a una tasa constante n , de modo que:

$$\frac{\dot{L}}{L} = n$$

$$\frac{\dot{A}}{A} = g$$

En términos de capital por trabajador efectivo $k = \frac{K}{AL}$, la dinámica del modelo se expresa como:

$$\dot{k} = sf(k) - (n + g + \delta)k *$$

El equilibrio de largo plazo, o estado estacionario, se alcanza cuando $\dot{k} = 0$, lo que implica:

$$sf(k *) = (n + g + \delta)k *$$

donde k^* es el capital por trabajador efectivo en estado estable. En este punto, la producción per cápita crece a la tasa exógena del progreso tecnológico g , mientras que, el nivel de vida depende del stock de capital y de la productividad.

El modelo predice que las economías tienden hacia su propio estado estacionario y que las diferencias en el nivel de ingreso per cápita entre países se deben principalmente a diferencias en las tasas de ahorro, crecimiento poblacional y tecnología; asimismo, establece el concepto de convergencia condicional, según el cual países con características estructurales similares tenderán a converger en niveles de ingreso, siempre que adopten las mismas tasas de ahorro y crecimiento tecnológico.

Métodos de cálculo del PBI

Acorde con el Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2020), el PBI puede ser cuantificado mediante los siguientes métodos:

- **Método de la Producción**

Método que define el PBI como la suma de las contribuciones de todos los productores dentro del régimen económico; además de ello, y, para facilitar su cuantificación, los sujetos económicos se agrupan en grupos similares, lo que consiente distintos niveles de desagregación; por ende, este enfoque se basa en las cuentas de producción de los sujetos económicos, considerando la unidad de producción o establecimiento (INEI, 2020).

Es por ello que, este método indica que uno de los niveles más agregados en que se organizan las diligencias económicas se categoriza en tres sectores: Primario (agricultura, ganadería, caza, silvicultura, pesca y explotación de Minas y Canteras), Secundario (manufactura y construcción) y Terciario (comercio y otros servicios).

– **Método del Gasto**

Desde la perspectiva del gasto o destino de la producción, el PBI calcula el valor de las distintas empleabilidades conclusivas de la producción en la economía, descontando el valor de las importaciones de recursos y prestaciones, ya que, no son producidos dentro del territorio nacional (INEI, 2020).

– **Método del ingreso**

La tercera manera de calcular el PBI es a través de los ingresos que reciben los sujetos económicos como compensación por su colaboración en la producción, dicho método, conocido también como el de valor agregado, suma las rentas forjadas por los constituyentes de producción (INEI, 2020).

1.3.2. Degradación ambiental

Se entiende por degradación ambiental al deterioro de los bienes de la naturaleza y el entorno, lo que puede llevar a la pérdida de riqueza biológica y el descenso de los servicios ecosistémicos, esto incluye la saturación de recursos como el agua, el aire y el suelo, así como la alteración de entornos naturales (MINAM, 2013).

De acuerdo con Ulucak y Lin (2017), más allá del uso tradicional de las emisiones de CO₂ como parámetro central de la degradación ambiental en numerosos estudios, existen múltiples indicadores sectoriales que permiten cuantificar de forma específica la repercusión del accionar humano sobre los ecosistemas. Entre los más comunes se encuentran la pérdida de cobertura boscosa, la polución atmosférica y acuática, la formación de desechos sólidos y la pérdida de biodiversidad (UNEP, 2019; World Bank, 2020); sin embargo, estos indicadores, aunque útiles, ofrecen una visión fragmentada del estado del entorno natural, esta limitación ha dado lugar a un creciente interés por los indicadores agregados que integren distintas dimensiones del deterioro ambiental. En este contexto, la huella ecológica, desarrollada por Rees (1992) y Wackernagel y Rees (1998), se ha solidificado como un eje clave para evaluar la presión global que ejerce la actividad humana sobre la capacidad regenerativa del planeta (Global Footprint Network, 2022). Al incorporar de manera conjunta datos sobre consumición de bienes y emisión de residuos, la huella ecológica permite superar la visión parcial de los indicadores sectoriales y proporciona una perspectiva integral, indispensable para el diseño e integración de políticas ambientales eficaces.

Teoría de la huella ecológica

La huella ecológica, concepto introducido por Rees (1992), se conceptualiza como el área de tierra ecológicamente esencial para sostener el consumo de recursos y la asimilación de residuos de una población específica utilizando la tecnología dominante, esta noción parte del principio de capacidad de carga apropiada, es decir, la cantidad de territorio biológicamente productivo que una población necesita para mantener su nivel de vida actual de forma sostenible. Rees argumenta que las ciudades modernas, al depender intensamente de flujos externos de recursos y energía, externalizan su impacto ambiental, apropiándose de la capacidad ecológica de territorios lejanos; en consecuencia, las áreas urbanas tienen huellas ecológicas mucho mayores que su extensión física, lo que pone en evidencia una desconexión crítica entre la economía urbana y los umbrales ecológicos del planeta, por ende, esta teoría destaca la necesidad de repensar las relaciones entre urbanización, consumo y sostenibilidad, proponiendo la huella ecológica como un parámetro agregado clave para evaluar dicha presión ambiental.

Por otro lado, la huella ecológica, según Wackernagel (1994) y Wackernagel y Rees (1998), es una herramienta conceptual y operativa que mide la superficie de tierra ecológicamente productiva obligatoria para sostener el nivel de consumición de una población dada, incluyendo los bienes utilizados y los desechos forjados, bajo la tecnología predominante, en otras palabras, representa el área biológicamente productiva que una sociedad necesita para abastecer sus necesidades y absorber sus residuos, revelando así su nivel de apropiación de la capacidad de carga del planeta. Wackernagel desarrolló esta idea a partir del concepto de capacidad de carga apropiada, con el propósito de vincular las preocupaciones ecológicas globales con la toma de decisiones a nivel individual e institucional; por ello, su teoría subraya que muchas economías, especialmente las urbanas e industrializadas, externalizan gran parte de

su impacto ambiental, demandando superficies ecológicas mucho mayores que su territorio físico. La huella ecológica, por tanto, no solo sirve como indicador cuantitativo del impacto humano sobre la naturaleza, sino también como una herramienta de planificación orientada a la sostenibilidad, al permitir visualizar de forma integrada la relación entre consumo, tecnología y presión ecológica.

La huella ecológica como indicador de la degradación ambiental

Según el artículo Ulucak y Lin (2017), la huella ecológica es reconocida como un parámetro agregado maduro para valorar la presión que el accionar humano ejercen sobre los bienes de la naturaleza, y se considera uno de los indicadores más útiles de la degradación ambiental. A diferencia de medidas sectoriales como las emisiones de CO₂, la huella ecológica integra múltiples dimensiones del impacto ecológico en un solo valor, lo que posibilita obtener una visión más completa del deterioro ambiental, esta herramienta cuantifica cuánta superficie biológicamente productiva es necesaria para sostener el consumo de recursos y absorber los residuos creados por una población, utilizando la tecnología predominante; además, su carácter integral la convierte en un insumo clave para el diseño y evaluación de políticas ambientales, ya que, según los autores, los shocks o cambios en la huella ecológica tienden a tener efectos permanentes sobre el medio ambiente, lo cual refuerza su utilidad como indicador central del grado de degradación ecológica y de la efectividad de las iniciativas integradas. En otras palabras, la huella ecológica refleja el impacto combinado de las actividades humanas, que puede medirse a través del uso bioeficiente de la tierra, el agua requerida para elaborar los recursos consumidos y los desechos generados durante el proceso.

Según Mantilla et al. (2024), la huella ecológica constituye un indicador clave de degradación ambiental, ya que permite cuantificar la presión que el accionar humano ejerce sobre los ecosistemas y su capacidad de regeneración, este indicador refleja el grado en que se exceden los límites ecológicos del planeta, mostrando un desequilibrio entre la consumición de recursos naturales y la aptitud del entorno para impregnar los residuos generados, especialmente el dióxido de carbono; de esta manera, al evidenciar el agotamiento progresivo de las zonas bioproductivas, la huella ecológica se convierte en un instrumento útil para diagnosticar procesos de degradación ambiental y orientar políticas hacia la sostenibilidad.

Por su parte, Alvarado et al. (2021) indican que, la huella ecológica se utiliza como un indicador integral de la degradación del entorno, pues evalúa el impacto de todas las actividades humanas sobre la naturaleza al cuantificar la superficie productiva requerida para cubrir el consumo de recursos y la asimilación de residuos en una población dada; inclusive, establecen que, la huella ecológica refleja de manera más completa el deterioro ambiental en comparación con indicadores sectoriales (como las emisiones de CO₂), al incorporar dimensiones tan diversas como tierras de cultivo, bosques, zonas de pesca, áreas urbanas y absorberencia de carbono; de este modo, se consolida como una herramienta clave para diagnosticar el grado de presión humana sobre los ecosistemas y direccionar iniciativas de desarrollo sostenible en la región.

Por último, es de precisar que, el Ministerio del Ambiente [MINAM] (2024) indica que, la huella ecológica es la demanda de recursos naturales expresada en superficie de tierra y mar necesaria para satisfacer el consumo y asimilar los residuos generados por un proyecto o población, y la contrapone a la biocapacidad, entendida como la habilidad natural de reposición de esos mismos ecosistemas, este indicador se emplea para evaluar la sustentabilidad ambiental de las

construcciones y alinear las obras con los objetivos nacionales de eficiencia energética y reducción de impactos ambientales.

Es por ello que, la huella ecológica se calcula convirtiendo cada flujo de recurso (alimentos, energía, materiales, emisiones, etc.) en la superficie bioproductiva necesaria mediante tres factores:

1. Y_N : convierte el flujo físico en hectáreas locales requeridas.
2. Y_F : ajusta la productividad local a la productividad media mundial.
3. EQF : escala la productividad media mundial a “hectáreas globales” (gha).

De este modo, la fórmula general es:

$$HE = \sum_j (F_j \times Y_{N,j} \times Y_{F,j} \times EQF_j)$$

Donde F_j es el flujo de recurso j y la suma abarca todas las categorías de uso de tierra (cultivos, pastos, bosques, pesca, áreas urbanas y carbono) expresadas en gha.

Teoría de la maldición de los recursos naturales

Según Katz (2020), los modelos teóricos tradicionales del crecimiento económico se han enfocado en factores como el capital, el trabajo y el progreso tecnológico, pero no han considerado el aprovechamiento de recursos naturales, lo cual se debe a que los recursos naturales varían según la región, accionar que diferencia a las compañías entre sí, incluso si explotan el mismo recurso, por ende, tal variabilidad impide la presencia de una función de producción de tipo universal. Además, la explotación de recursos naturales condiciona la producción, dado que, las compañías deben enfrentar tanto la empleabilidad de tecnologías de explotación como el impacto ambiental y la sostenibilidad a plazo extendido.

Respecto a ello, Katz (2020) explica que la presente teoría nació para entender el crecimiento de la economía cimentado en el aprovechamiento de recursos naturales; de manera inicial, se pensaba que la abundancia de recursos naturales favorecería el comercio y el crecimiento de la economía; pero, la evidencia empírica muestra que tener abundantes recursos no garantiza un mayor crecimiento del PBI y puede ser perjudicial, accionar que se debe a posibles impactos negativos en el tipo de cambio y a la "Enfermedad Holandesa", donde la economía depende excesivamente de sectores en auge, como la minería o la energía. De la misma manera, el autor argumenta que el bajo desempeño económico de países con abundantes recursos se debe a la falta de integración entre el sector extractivo y otros sectores, a la exportación de materias primas sin industrialización local y a la naturaleza limitada y no renovable de estos recursos.

Por su parte, Ramírez y Antero (2014) sostienen que el aprovechamiento de recursos naturales es esencial debido a la gran dependencia de la industria, la construcción y el comercio, que requieren grandes cantidades de energía fósil y recursos mineros para sus actividades, donde la alta demanda de recursos comenzó con la revolución industrial, ya que, son fundamentales para la producción de herramientas y maquinaria; sin embargo, estos recursos son limitados y no renovables, lo cual, lleva a su agotamiento a largo plazo, haciendo necesaria una explotación sustentable. Además, en países menos industrializados, el aprovechamiento de bienes naturales es el motor de la economía, reflejando una conexión intrínseca entre el humano y la naturaleza.

1.3.3. Crecimiento económico y degradación ambiental

Acorde con Romer (1996), el poseer bienes naturales y limitados genera que una economía no se pueda fiar del crecimiento de la economía a costa de dichos recursos, dado que,

se agotan con el pasar del tiempo. Por este motivo, y, para examinar el vínculo entre las variables de estudio, resulta necesario categorizar a los bienes de la naturaleza, tales como: derechos de propiedad privada correctamente establecidos y los carentes de derechos reconocidos, donde el autor destaca que, cuando los primeros derechos no se encuentran adecuadamente definidos se está frente a la presencia de una falla de mercado conocida como externalidad.

De forma representativa, Romer (1996) efectuó un análisis de la tierra y los recursos, tomando como punto de partida a la ecuación matemática de Cobb – Douglas:

$$Y_t = K_t^\alpha R_t^\beta T_t^\gamma [A_t L_t]^{1-\alpha-\beta-\gamma} \quad (1)$$

$$\alpha > 0 \quad \beta > 0 \quad \alpha + \beta + \gamma < 1$$

Donde: Y simboliza producción, K es capital, A representa progreso tecnológico, L está relacionado al trabajo, T está asociado a la superficie de la tierra y R está vinculado a los recursos naturales.

La ecuación de Cobb – Douglas sigue vigente y se desarrolla según el modelo de Solow (1956), donde se asume que la superficie de la tierra es constante y no disminuye $\dot{T}_t = 0$; entre tanto, los bienes de la naturaleza, aunque también son fijos, se agotan con el tiempo debido a su carácter no renovable:

$$\dot{R}_t = -bR_t \quad b > 0 \quad (2)$$

Cuando estos nuevos elementos se integran al modelo de Solow, la función de producción ya no poseerá un valor fijo; dado que las tasas de crecimiento de A , L , R y T son constantes, para que exista un estado estacionario es necesario que tanto K como Y se incrementen a una tasa fija. Por ello, la ecuación de movimiento del capital será:

$$\dot{K}_t = -sY_t - \delta K_t \quad (3)$$

Para que K sea constante, la relación con Y también debe ser constante. A partir de las ecuaciones (1), (2) y (3), se puede determinar la tasa de crecimiento de Y en estado estacionario (g_y^{bgp}).

$$g_y^{bgp} = \frac{(1 - \alpha - \beta - \gamma)(n - g) - \beta b}{1 - \alpha} \quad (4)$$

Aunque el procedimiento no soluciona la cuestión de si la economía se aproxima a un equilibrio estable, sí podemos afirmar que g_k siempre descende hasta alcanzar su valor estable, lo cual implica que la economía también lo hace.

Según lo indicado en el modelo de crecimiento económico de Solow, si una economía se enfoca en el crecimiento de la economía a expensas de los bienes de la naturaleza, se produce una sobrecarga que agota los recursos no renovables, lo cual, lleva a que la economía de los países despliegue una curva con forma de U invertida, como propuso Kuznets (Romer, 1996).

Curva de Kuznets Ambiental (CKA)

Kuznets (1955) establece que existen conceptos que varían a un extenso periodo acorde al recorrido del crecimiento de la economía, motivado de manera principal por las transformaciones de la estructuración de producción, la cual nace del supuesto de mutación de economías con bajos ingresos a economías prósperas con altos niveles de ingresos, respecto a ello, la CKA determinar un vínculo en forma de U invertida entre los niveles de degradación ambiental y el ingreso pc de una economía, donde se supone que, mientras existan mayores ingresos por individuo, el perjuicio ambiental incrementará en una primera etapa; no obstante,

conseguirá a equilibrarse para luego evidenciar una vinculación inversa entre los constructos (Panayotou, 1993).

Acorde a lo anterior, Grossman y Krueger (1991) emplean la CKA para analizar el cambio de la estructuración productiva y su vínculo con la degradación partiendo de flujos comerciales y reconocen tres etapas de la transformación:

En la primera etapa, las economías perciben un aumento en la producción agrícola, lo que lleva a un incremento en los restos de plaguicidas y estiércoles; al mismo tiempo, su crecimiento económico se basa en una superior inversión en el aprovechamiento de materiales naturales no renovables y el uso de tecnología pretérita, accionar que provoca un incremento en los fenómenos de deterioro ecológico y niveles más altos de gases de efecto invernadero y contaminación (Meadows et al., 1972). Además, en esta fase, la calidad del ambiente se considera un bien de lujo, siendo más valorada a medida que aumentan los ingresos; sin embargo, en economías de bajos ingresos con una urbe con menores niveles educacionales, la petición por calidad y políticas del ambiente es baja, en cambio, la prioridad de la población es la implementación de políticas para combatir la pobreza (Correa, 2007; Selden y Song, 1994).

En la segunda etapa, las economías atraviesan un efecto denominado composición, especializándose en sectores donde tienen ventaja comparativa, donde, la estructura productiva se transforma y su impacto ambiental depende de las tecnologías empleadas, además de, las regulaciones ambientales vigentes; por otro lado, la economía puede orientarse hacia industrias ambientalmente sostenibles que usan energías renovables o hacia sectores que requieren grandes inversiones en capital físico y dependen de energías fósiles (Grossman y Krueger, 1991).

Por último, en la última etapa, la economía atraviesa la consecuencia técnica en donde cambia su estructuración de producción, en su mayoría, hacia las prestaciones y conservará un sustentable nivel de producción de recursos vinculados con el ámbito industrial y agrícola, pero en inferior proporción, por lo cual, atravesará un perfeccionamiento sustantivo en el ingreso per cápita; asimismo, admiten la degradación como un bien de lujo, por lo cual, en esta etapa, los seres humanos de elevados ingresos requieren una calidad mejor de medio ambiente (Selden y Song, 1994).

Desde una perspectiva microeconómica, las tres etapas se fundamentan por la maximización de la utilidad que buscan los seres humanos (Granja et al., 2002). Inicialmente, el mercado se desenvuelve en una economía imperfecta y totalmente competitiva, donde la utilidad de las personas pende tanto de su ingreso como de la calidad del medio ambiente (5).

$$MAX (U) = B (E, Y) - C(E, Y) \quad (5)$$

Donde: Los beneficios netos (U) se derivan de los beneficios (B) menos los costos (C), ambos influenciados por la degradación del ambiente (E) y el ingreso por persona (Y).

A cualquier grado de ingreso, los individuos buscan extender su utilidad, lo que ocurre cuando el beneficio marginal de mejorar la calidad ambiental se iguala al costo marginal. Respecto a ello, y, tomando en consideración a los condicionamientos de primer orden, se asegura que:

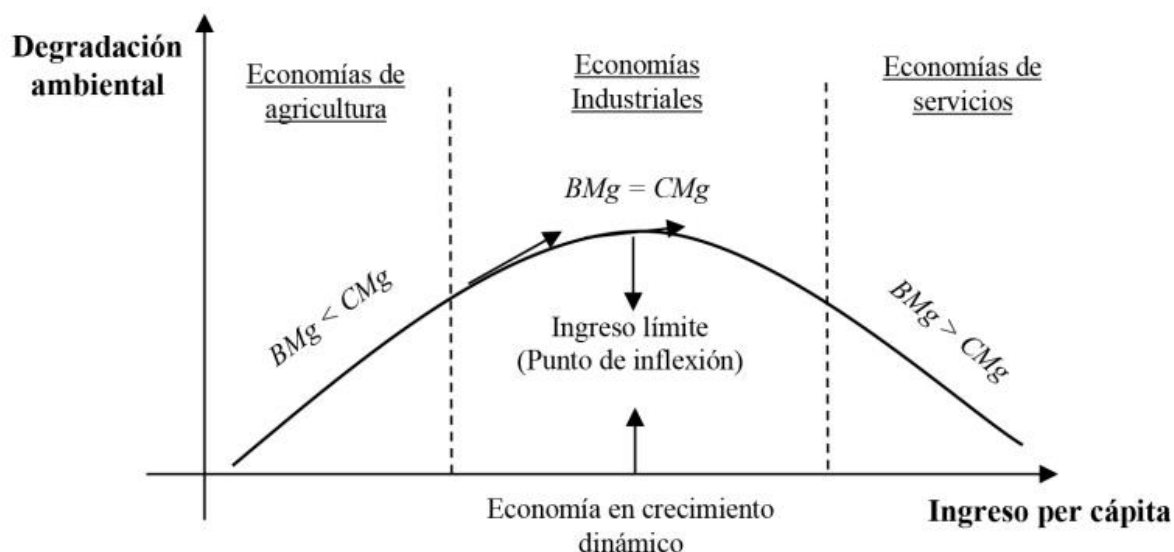
$$BM_g - CM_g = 0 \rightarrow \frac{\partial B}{\partial E} = \frac{\partial C}{\partial E} \quad (6)$$

Por ende, el deterioro del ambiente aumenta con el ingreso, pero este efecto se invierte a medida que el ingreso crece, ya que, el beneficio marginal de una mejor calidad ambiental

también aumenta, lo cual, lleva a una superior disponibilidad a cancelar por el descenso de la degradación del ambiente a medida que se acrecienta el ingreso (Ver Figura 1).

Figura 1

Curva de Kuznets ambiental



Nota. Freire et al. (2021).

Por su parte, Bagliani et al. (2008) precisan que, la CKA propone una conexión en forma de U invertida entre el ingreso per cápita y el impacto ambiental, indicando que en las primeras etapas del crecimiento económico se incrementa la presión sobre el ambiente, pero que esta tiende a disminuir conforme se alcanza un mayor nivel de desarrollo. En este marco, la huella ecológica se ha incorporado como un indicador alternativo para evaluar dicha relación, al ofrecer una visión más amplia del impacto humano sobre los ecosistemas, incluyendo tanto el uso de recursos renovables como la capacidad de absorción de residuos; por lo tanto, su empleo permite analizar de forma integral la sostenibilidad del desarrollo económico, superando las limitaciones de indicadores tradicionales centrados únicamente en emisiones o contaminantes específicos.

Por último, Al – mulali et al. (2015) indican que, la CKA plantea una relación teórica en forma de U invertida entre el nivel de ingreso pc y la degradación ambiental; según este enfoque, en las primeras fases del crecimiento económico, la presión sobre el ambiente tiende a incrementarse, mientras que en etapas más avanzadas, el desarrollo promovería una reducción en el impacto ambiental gracias a la adopción de tecnologías más limpias y políticas ambientales eficaces. En este contexto, la huella ecológica se ha incorporado como un parámetro alternativo al tradicional uso de emisiones contaminantes, permitiendo una evaluación más integral del impacto ambiental al considerar tanto la demanda de bienes de la naturaleza como la capacidad del planeta para regenerarlos; por ello, su utilización en el análisis de la CKA contribuye a enriquecer el marco conceptual que vincula el desarrollo económico con la sostenibilidad ambiental, desde una perspectiva más holística.

1.3.4. Población como variable de control

En los modelos econométricos que analizan la relación entre crecimiento económico y degradación ambiental, las variables de control juegan un rol fundamental para garantizar la validez interna de las estimaciones. Estas variables capturan factores exógenos o complementarios que podrían influir en la huella ecológica, permitiendo aislar el efecto causal neto del PBI sobre la degradación ambiental y evitando sesgos de omisión de variable.

La población total se incorpora como variable de control esencial en el modelo econométrico, ya que representa uno de los principales determinantes directos de la huella ecológica y la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú. Según el marco teórico IPAT (Impacto = Población $\times$ Afiliación $\times$ Tecnología), desarrollado originalmente por Ehrlich y Holdren (1971), la población actúa como multiplicador directo de la presión ambiental,

incrementando la demanda agregada de recursos naturales, energía, alimentos y servicios independientemente del nivel de ingreso per cápita. Dietz y Rosa (1997) refinaron este enfoque mediante el modelo STIRPAT, que permite estimaciones econométricas robustas al tratar la población como variable explicativa clave junto al PBI, demostrando empíricamente que su omisión genera sesgos significativos en la relación entre crecimiento económico y degradación ambiental.

Wang (2024) confirma esta práctica en estudios recientes de Curva de Kuznets Ambiental, donde la población se incluye sistemáticamente como control para aislar el efecto neto del PBI sobre la huella ecológica en países emergentes, evitando atribuir al desarrollo económico impactos que corresponden al dinamismo demográfico. En contextos latinoamericanos con crecimiento poblacional acelerado como Perú, esta variable es particularmente crítica, ya que regiones con mayor densidad demográfica exhiben huellas ecológicas desproporcionadamente altas incluso controlando el ingreso per cápita, lo que justifica plenamente su inclusión para obtener estimaciones causales precisas en la macrorregión centro.

1.3.5. Tasa de urbanización como variable de control

La tasa de urbanización constituye un factor clave en el análisis del desarrollo económico y social de los países. Este indicador refleja el grado en que la población se concentra en áreas urbanas, lo cual suele estar asociado con mayores niveles de industrialización, acceso a infraestructura, innovación y dinamismo económico. En este contexto, incorporar la tasa de urbanización dentro del modelo de la CKA resulta relevante, ya que permite capturar cambios estructurales en la economía y en la distribución de la población que pueden influir en el

crecimiento económico y en los procesos de acumulación de capital. Por ello, esta variable se considera un componente importante para mejorar la capacidad explicativa del modelo y comprender con mayor precisión las dinámicas del desarrollo.

En ese sentido, diversos estudios han ampliado el modelo tradicional de la Curva Ambiental de Kuznets (CAK) incorporando variables adicionales que permiten explicar con mayor precisión la relación entre crecimiento económico y calidad ambiental. Los autores Wang et. al. (2022), realizaron un estudio donde han incluido la tasa de urbanización como una variable relevante dentro del modelo, con el fin de analizar cómo los cambios en la estructura poblacional y el crecimiento de las ciudades influyen en los resultados ambientales. Los hallazgos de estas investigaciones sugieren que la urbanización desempeña un papel importante en esta relación, ya que puede intensificar el impacto del crecimiento económico sobre indicadores ambientales, evidenciando que se trata de un factor clave que debe considerarse en el análisis empírico de la CKA.

1.3.6. Comparación interregional

Es una metodología utilizada en diversas disciplinas, como la economía, la geografía, la sociología y la política, para analizar y contrastar las características, el desarrollo y las dinámicas de diferentes regiones dentro de un mismo país o entre varios países; además, permite identificar las disparidades y similitudes en áreas clave como el crecimiento económico, la calidad de vida, la accesibilidad a las prestaciones, el desarrollo social y las políticas públicas implementadas (Gladkova y Ragnedda, 2020).

Acorde a lo anterior, Başar y Eren (2022) indican que, la comparación interregional es fundamental para comprender las dinámicas de desarrollo y para diseñar políticas públicas que

busquen perfeccionar el bienestar en las regiones menos favorecidas; es por ello que, presenta los siguientes objetivos:

– **Identificación de desigualdades regionales**

La comparación interregional ayuda a identificar disparidades en términos de desarrollo económico, acceso a la educación, la salud, infraestructura, empleo y otros indicadores sociales. Las regiones de un país o área geográfica pueden tener características muy diferentes, lo que implica que las iniciativas gubernamentales deben ser adaptadas a las particularidades locales.

– **Evaluación de factores de crecimiento**

Permite examinar los factores que inducen el crecimiento económico en diferentes regiones, como la disponibilidad de recursos naturales, la inversión en infraestructura, el capital humano y las políticas gubernamentales, esta evaluación es clave para entender las causas subyacentes de las desigualdades y para promover un desarrollo equilibrado.

– **Diseño de políticas públicas más efectivas**

Las diferencias interregionales indican que las políticas de desarrollo económico y social deben ser diseñadas teniendo en cuenta las características únicas de cada región; por ello, la comparación interregional ofrece una base sólida para la formulación de iniciativas gubernamentales que den contestación a los requerimientos específicos de las regiones, como inversiones en infraestructura, educación y salud, o medidas para fomentar la diversificación económica en zonas dependientes de un solo sector.

Por último, la comparación interregional es de vital importancia para comprender las disparidades en el desarrollo entre diferentes regiones de un país o entre distintos países,

permitiendo identificar las áreas con mayores desafíos y potenciales de crecimiento, ya que, al comparar indicadores económicos, sociales, políticos y ambientales, esta herramienta proporciona una visión integral de las dinámicas regionales, lo que facilita la formulación de políticas gubernamentales más efectivas y adaptadas a las necesidades específicas de cada región; además, permite detectar desequilibrios en la distribución de recursos y el bienestar, promoviendo la equidad y la sostenibilidad al guiar las decisiones hacia un desarrollo más equilibrado, inclusivo y justo (Yang, et al., 2024).

1.4. Marco Conceptual

Crecimiento económico:

Aumento cuantitativo de la renta y de la valoración de los recursos y prestaciones terminables generados en el régimen económico; además, se encuentra medido por el incremento de la producción total de mercancías y prestaciones de una nación de un rango temporal entre la cantidad de habitantes, proceso estrechamente vinculado con la industrialización y el fortalecimiento de los sectores productivos que impulsan la expansión de la economía (Márquez et al., 2020; Ruiz, 2020).

PBI per cápita:

Medida económica que calcula la totalidad del valor de todos los bienes y prestaciones emanadas en un país durante un rango temporal, dividido por la población total de ese país (Zúñiga et al., 2020).

PBI del sector primario:

Producción económica de los sectores agropecuario, pesquero, minero, de hidrocarburos y manufacturero, vinculada estrechamente al aprovechamiento de recursos naturales y al crecimiento poblacional que impulsa la demanda de alimentos y materias primas (Instituto Peruano de Economía [IPE], 2013)

PBI del sector secundario:

Conocido también como sector industrial, por ello, está dedicado a procesar materias primas en productos de consumo final o en bienes intermedios y de capital que sirven a otras industrias y constituye la base del proceso de industrialización que dinamiza la economía mediante la transformación productiva (IPE, 2013).

PBI del sector terciario:

Actividades que proporcionan ventajas intangibles, transitorias y no adquiribles, las cuales se ven potenciadas por la modernización en la producción y el comercio, factores que incrementan la importancia de los servicios en el crecimiento económico contemporáneo (IPE, 2013).

Degradación ambiental:

Desperfecto del entorno natural, manifestado en la extenuación de recursos esenciales como el aire, el agua, el suelo y la vegetación, además se mide mediante la evaluación de la petición humana de recursos naturales y las prestaciones ecológicas frente a la aptitud del planeta para regenerar dichos recursos y absorber los residuos, en otras palabras, por la huella ecológica (Pérez et al., 2021).

Huella ecológica:

Medida del impacto del ambiente causado por la solicitud humana sobre los recursos de los hábitats del planeta; asimismo, es un término que se encuentra expresado en hectáreas globales (hag) (MINAM, 2024). En la misma línea, destaca que, dicho indicador es cuantificado acorde a los elementos subsiguientes: (1) Área para absorción del carbono; (2) Área de las tierras de pastoreo; (3) Área forestal; (4) Área de las zonas pesqueras; (5) Área de los cultivos; (6) Área de la tierra urbanizada.

Población:

Conjunto de individuos, constituido de forma estable, ligado por vínculos de reproducción e identificado por características territoriales y políticas (Nuñez & Ramirez, 2019).

Tasa de Urbanizacion:

La tasa de urbanización representa el aumento de la población que vive en áreas urbanas o la velocidad con la que las personas se trasladan hacia ciudades y zonas con alta densidad poblacional en un determinado período, lo cual evidencia el proceso de concentración de la población en los centros urbanos (INEI, 2018).

Venta de Energía Eléctrica:

La venta o comercialización de energía eléctrica corresponde a la etapa final de la cadena del sector eléctrico, en la cual las empresas comercializadoras adquieren electricidad en el mercado mayorista y la suministran a los consumidores finales, ya sean hogares o empresas. Este proceso incluye la administración del suministro, la gestión de contratos y la facturación del servicio,

además de permitir que los usuarios seleccionen distintas tarifas y condiciones según sus necesidades. (Alvarado & Matos, 2020)

Políticas Ambientales Municipales

Las políticas ambientales municipales son herramientas de planificación y gestión a nivel local que establecen objetivos, directrices y acciones orientadas a la protección del medio ambiente, la adecuada administración de los recursos naturales y la mejora de la calidad de vida en las ciudades. Su finalidad es promover el desarrollo sostenible, reducir o corregir impactos ambientales negativos en el ámbito local y vincular la gestión ambiental con el progreso económico y social. (Gobierno del Perú, 2025)

Años de Educacion Basica Regular

Los años de educación se refieren al período total que una persona destina a su formación académica, medido en ciclos anuales o escolares, desde los primeros niveles educativos hasta la educación superior. Este proceso suele organizarse en etapas como inicial, primaria, secundaria y superior, y refleja la acumulación progresiva de conocimientos, habilidades y el cumplimiento de la escolaridad obligatoria. (MINEDU, 2005)

Contaminación ambiental:

Presencia o inclusión de sustancias o elementos en el ecosistema que generan efectos adversos para los seres vivos y el entorno natural (Yalta, 2022).

Macroregión centro del Peru:

La Macroregión Centro está conformada por los departamentos de Ayacucho, Apurímac, Huancavelica, Huánuco, Ica, Junín y Pasco, los cuales se encuentran articulados a través de la

Mancomunidad Regional de los Andes, creada en 2013 con la finalidad de fortalecer la integración regional, promover el desarrollo económico y social, y ejecutar proyectos de alcance interregional. (Mancomunidad Regional de los Andes, 2013)

1.5. Marco Legal

1.5.1. Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente (2005)

La presente Ley fue promulgada en 2005 y constituye el marco normativo fundamental para la protección y gestión ambiental en Perú; además, instituye los preceptos y normas básicas para la conservación del ambiente y el uso sostenible de los bienes de la naturaleza, así como los derechos y deberes de las personas en concordancia con el entorno, inclusive, introduce el principio de desarrollo llevadero como eje central, buscando equilibrar el crecimiento económico, la protección ambiental y la equidad social e incorpora principios como la prevención, precaución, responsabilidad y participación ciudadana, promoviendo un enfoque integral y participativo en la gestión ambiental.

De la misma manera, uno de los aspectos más destacados de la Ley es la creación de un Sistema Nacional de Gestión Ambiental, que coordina los esfuerzos de diferentes sectores y niveles de gobierno para la protección del medio ambiente, dicho sistema está conformado por entidades públicas, privadas y la sociedad civil, bajo la dirección del MINAM; es por ello que, establece la obligatoriedad de las evaluaciones de impacto ambiental (EIA) para proyectos de inversión que puedan generar impactos significativos, asegurando que se identifiquen, prevengan y mitiguen los posibles daños al medio ambiente antes de la ejecución de los proyectos.

Finalmente, reconoce y protege el derecho de todos los individuos a vivir en un ambiente saludable y equilibrado; para ello, promueve la participación de la ciudadanía en la

determinación de resoluciones ambientales, facilitando el acceso a la información y fomentando la educación ambiental y también contempla sanciones para las acciones que originen daño al entorno, estableciendo un régimen de responsabilidades y reparaciones.

1.5.2. Ley N° 30884 - Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables (2018)

La presente Ley fue promulgada en 2018 y es una normativa pionera en Perú que regula la empleabilidad de plásticos de un solo uso y recipientes o envases descartables, con la intención de reducir la contaminación plástica y promover prácticas sostenibles en la consumición y elaboración, por lo cual, prohíbe la fabricación, importación, distribución y comercialización de diversos productos plásticos de un solo uso, tales como bolsas plásticas, sorbetes (pajillas), y envases de tecnopor (poliestireno expandido) que no sean reciclables o que no contengan un mínimo de material reciclado; inclusive, fomenta el uso de alternativas reutilizables, biodegradables y compostables, incentivando cambios en el comportamiento de consumidores y productores.

Asimismo, un aspecto clave de la Ley es la integración de un régimen de gestión de residuos sólidos que asegure el adecuado manejo, recolección, y reciclaje de plásticos, debido a ello, establece que los establecimientos comerciales deben ofrecer alternativas reutilizables y cobrar por las bolsas plásticas que se entreguen a los pródigos, promoviendo así la reducción del consumo de plásticos; también, incorpora medidas para mejorar la educación y sensibilización ambiental, así como la promoción de investigaciones y tecnologías que contribuyan a la reducción de la contaminación plástica.

Por último, contempla la obligación extendida del fabricante, lo que involucra que las empresas que fabrican, importan o comercializan productos plásticos deben asumir la responsabilidad por la gestión de los residuos que generan, lo cual, incluye el financiamiento y la integración de regímenes de acopio y reciclaje de los productos plásticos desechados y establece sanciones para aquellos que no cumplan con las disposiciones establecidas, garantizando su cumplimiento a través de la supervisión y fiscalización por parte de las autoridades competentes.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Tipo y Nivel de Investigación

El estudio presentó una tipología aplicada, puesto que, el propósito del estudio estuvo estrechamente asociado a la determinación de soluciones de problemáticas reales, además de ello, se asiste de la investigación básica para obtenerlo (Ñaupas et al., 2018).

Además, utilizó un enfoque cuantitativo, ya que, este se caracteriza por emplear métodos estadísticos y numéricos para medir y analizar los datos; a la vez, se fundamenta en una metodología científica rigurosa en la que se establecen hipótesis previas para luego ser verificadas mediante técnicas estadísticas (Fernández et al., 2021).

Finalmente, el nivel de la investigación fue descriptivo – explicativo, dado que, tuvo la intención de precisar la tendencia de las variables de estudio e instituir el impacto de un conjunto de constructos independientes o predictoras sobre un constructo dependiente o predicha (Arias y Covinos, 2021).

2.2. Diseño de Investigación

El diseño del estudio fue no experimental, puesto que, los resultados se presentaron sin realizar cambios deliberados en las variables; asimismo, el objetivo fue observar y analizar el fenómeno en su contexto natural, con la intención de examinar de manera precisa lo observado (Armijo et al., 2021).

En este marco metodológico, se utilizó un modelo logarítmico que permite transformar las variables a fin de interpretar los coeficientes como elasticidades, lo cual hace posible medir la variación porcentual de degradación ambiental (medida por la Huella ecológica) ante cambios porcentuales en el PBI pc, proporcionando así una estimación más robusta y comparable de la

relación entre las variables analizadas. Además, este tipo de especificación contribuye a reducir problemas de heterocedasticidad y facilita la identificación de patrones de comportamiento económico que no serían evidentes en una forma lineal simple, otorgando mayor solidez a la inferencia estadística y a la interpretación de los resultados obtenidos.

2.3. Población y Muestra

En primer lugar, la población se precisa como el conjunto de constituyentes que comparten peculiaridades y propiedades similares (Hernández y Mendoza, 2018). Por lo tanto, la población de este trabajo investigativo estuvo constituida por las series estadísticas de las 7 regiones que forman la macroregión centro del Perú (Apurímac, Huancavelica, Junín, Ica, Ayacucho, Huánuco, Pasco), las cuales fueron establecidas por el Pleno del Tribunal Constitucional (2016).

Por otro lado, la muestra es una fracción poblacional seleccionada de acuerdo con los requisitos del estudio (Arias, 2020). En consecuencia, la muestra estuvo compuesta por 105 observaciones, con una data panel que engloba 7 regiones y un periodo de 15 años (2009-2023)

2.4. Fuente de Información

Conceptualizadas como recursos utilizados para obtener datos, hechos, y conocimientos sobre un tema específico (Ñaupas et al., 2018). Acorde a ello, se emplearon fuentes secundarias, en otras palabras, aquellos recursos que interpretan, analizan, resumen o comentan sobre información originalmente presentada en fuentes primarias; por lo cual, es de precisar que, la variable PBI fue obtenida de la base de datos del INEI. Para garantizar la homogeneidad en el análisis interregional y facilitar la interpretación de los resultados, la información fue reorganizada agrupando las actividades económicas en los tres grandes sectores productivos:

primario (agricultura, ganadería, caza y silvicultura; pesca y acuicultura; extracción de petróleo, gas y minerales; y electricidad, gas y agua), secundario (manufactura y construcción) y terciario (comercio; transporte, almacenamiento, correo y mensajería; alojamiento y restaurantes; telecomunicaciones y otros servicios de información; administración pública y defensa; y otros servicios).

Con el fin de estandarizar los resultados y permitir una comparación adecuada entre las unidades observadas, dicho valor agregado fue dividido entre la población regional correspondiente, obtenida de las estimaciones oficiales, lo que permitió obtener el PBI pc, este indicador expresa el nivel de ingreso promedio por habitante y constituye una medida más precisa para evaluar el desempeño económico regional en relación con la huella ecológica, ya que controla las diferencias en tamaño poblacional y posibilita la interpretación de los resultados en términos relativos.

Así mismo, los datos de la variable huella ecológica per cápita fueron extraídos de la Plataforma Nacional de Datos Abiertos del Gobierno Nacional.

Por último, la información correspondiente a las variables de control incluidas en el modelo, como la tasa de urbanización (proporción), la venta de electricidad (gigawatt hora), los años promedio de educación de la población de 15 años a más (años) y las municipalidades que cuentan con políticas ambientales, fue obtenida del Sistema de Información Regional para la Toma de Decisiones (SIRTOD) del Instituto Nacional de Estadística e Informática.

En conclusión, se tomó 3 fuentes de datos diferentes porque cada institución estatal se especializa en generar series temporales específicas; es por ello que, primero, los datos fueron

extraídos de manera independiente y luego, fueron ordenados en una hoja de cálculo tomando en consideración la forma de una base de datos para un modelo de datos panel.

2.5. Técnicas e Instrumentos

En cuanto a la técnica de investigación, esta se define como la manera de registrar el procedimiento a seguir para alcanzar los resultados deseados, por lo cual, es un componente que facilita el desarrollo del método. Para el acopio de datos, se empleó el análisis documental, la cual, se basa en la recolección de información de fuentes secundarias, es decir, aquella recopilada por otros organismos o investigadores (Ñaupas et al., 2018).

Por otro lado, el instrumento es un utensilio que respalda la aplicación de las técnicas. En este caso, el instrumento a emplear fue la ficha de registro, permitiendo recopilar información secundaria a través de las fuentes oficiales del Gobierno del Perú.

En cuanto a la estimación, se usó un modelo econométrico de datos de panel, el cual considera la muestra de interés (las regiones macroregión centro del Perú) durante un periodo de tiempo específico; además de ello, es un modelo que combina dos tipos de datos: temporales y estructurales.

Además de ello, es preciso destacar que, dicho instrumento econométrico se emplea para identificar la heterogeneidad no observada y permite examinar el impacto independiente que ocurre de manera diferente en cada una de las observaciones de la muestra sin variar con el tiempo; asimismo, ayuda a reconocer el impacto temporal que afecta conjuntamente a los elementos considerados.

Es por ello que, en el marco conceptual de la presente investigación, se adoptó el sistema teórico de la CKA como base fundamental para el análisis de la relación entre el crecimiento

económico y el impacto ambiental, este enfoque permitió establecer un vínculo teórico sólido que respalda la formulación del modelo econométrico, en el cual se examina cómo las variaciones en el PBI pc influyen en la huella ecológica.

A partir de los fundamentos teóricos de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA), se procede a desarrollar la especificación matemática y econométrica del modelo de investigación:

Fundamentación matemática del modelo:

La teoría de la Curva de Kuznets Ambiental plantea que existe una relación funcional entre el crecimiento económico y la degradación ambiental. En términos matemáticos, esta relación puede representarse mediante una función general:

$$HE = f(PBI\ pc)$$

donde:

- HE = Huella ecológica.
- PBIpc = Producto Bruto Interno per cápita.

Por consiguiente, resulta necesario aproximarla mediante una expresión matemática que permita representar adecuadamente el comportamiento esperado entre las variables. En la literatura económica y econométrica, una de las aproximaciones más utilizadas consiste en emplear un polinomio de segundo grado, ya que constituye la forma funcional más sencilla capaz de capturar relaciones no lineales, como las planteadas por la Curva de Kuznets Ambiental.

$$f(PBIpc) = \beta_0 + \beta_1(PBI\ pc) + \beta_2(PBI\ pc)^2$$

Una vez definida la aproximación polinómica, esta se sustituye en la función general planteada inicialmente. De esta manera, se obtiene la expresión matemática que describe la relación entre el crecimiento económico y la huella ecológica, constituyendo la base teórica del modelo empleado en la presente investigación.

$$HE = \beta_0 + \beta_1(PBI\ pc) + \beta_2(PBI\ pc)^2$$

Al incorporar $(PBI\ pc)^2$ la función puede adoptar una forma de U o de U invertida, tal como lo plantea la Curva de Kuznets Ambiental.

Para identificar el nivel de ingreso en el que cambia la relación entre ambas variables, se obtiene la primera derivada respecto al PBI per cápita.

$$\frac{dHE}{dPBIpc} = \beta_1 + 2\beta_2(PBIpc)$$

Igualando a cero,

$$\beta_1 + 2\beta_2(PBIpc) = 0$$

Despejando,

$$PBI\ pc^* = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$$

Posteriormente, la segunda derivada es,

$$\frac{d^2HE}{dPBIpc^2} = 2\beta_2$$

Si

$$\beta_2 < 0$$

la función presenta una U invertida; y, si.

$$\beta_2 > 0$$

presenta una U.

Especificación econométrica del modelo:

Para ello, se parte de la premisa central de la teoría, la cual sostiene que la degradación ambiental se encuentra influenciada por el nivel de ingreso o crecimiento económico. En consecuencia, resulta necesario formular una función que represente dicha relación y, posteriormente, incorporar los elementos necesarios que permitan contrastar empíricamente la hipótesis planteada, tal como se muestra a continuación:

$$HEpc_{it} = f(PBIpc_{it})$$

donde:

$HEpc_{it}$: Huella ecológica per cápita

$PBIpc_{it}$: Producto Bruto Interno per cápita

No obstante, la relación funcional exacta entre la huella ecológica y el crecimiento económico no es observable directamente, por lo que resulta necesario aproximarla mediante una especificación econométrica. En su forma más simple, esta relación puede representarse a través de un modelo lineal, donde la huella ecológica depende del nivel de ingreso y de un término de error que recoge aquellos factores no observados que también influyen sobre la variable dependiente.

$$HEpc_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 * PBIpc_{it} + \mu_{it}$$

donde:

α_{it} : intercepto

β_1 : efecto marginal del PBI

μ_{it} : término de error

Sin embargo, la teoría de la Curva de Kuznets Ambiental sostiene que la relación entre crecimiento económico y degradación ambiental no necesariamente es lineal. En las primeras etapas del desarrollo económico, el incremento del ingreso suele estar asociado a una mayor presión sobre el medio ambiente; no obstante, a medida que las economías alcanzan mayores niveles de desarrollo, dicha relación puede modificarse. Por ello, resulta necesario incorporar un término cuadrático que permita capturar posibles comportamientos no lineales:

$$HEpc_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 * PBIpc_{it} + \beta_2 * PBIpc_{it}^2 + \mu_{it}$$

La incorporación del término cuadrático permite analizar matemáticamente la existencia de un punto de inflexión en la relación entre crecimiento económico y degradación ambiental. Para ello, se obtiene la primera derivada de la función respecto al PBI per cápita, con el objetivo de identificar cómo varía el efecto marginal del crecimiento económico sobre la huella ecológica.

$$\frac{\partial HE pc}{\partial PBI pc} = \beta_1 + 2\beta_2 PBIpc$$

$$PBIpc^* = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$$

A partir de esta expresión es posible identificar el punto de giro de la curva. En particular, si el coeficiente lineal resulta positivo ($\beta_1 > 0$) y el coeficiente cuadrático negativo ($\beta_2 < 0$), se verifica una relación en forma de U invertida, consistente con la hipótesis planteada por la Curva de Kuznets Ambiental.

Posteriormente, con la finalidad de mejorar la especificación econométrica, reducir diferencias de escala entre las variables y facilitar la interpretación de los coeficientes en términos de elasticidades, se procedió a transformar las variables mediante logaritmos naturales

$$\text{Log}(HE)_{rit} = \alpha_{it} + \beta_1 * \text{Log}(PBI)_{1it} + \beta_2 * [\text{Log}(PBI)_{1it}]^2 + \mu_{it}$$

No obstante, la degradación ambiental no depende exclusivamente del crecimiento económico. Existen otros factores demográficos, económicos y estructurales que también pueden influir sobre la huella ecológica. Por esta razón, se incorporan variables de control con el propósito de aislar el efecto del crecimiento económico y reducir posibles sesgos por omisión de variables relevantes.

$$\begin{aligned} \text{Log}(HE)_{rit} = & \alpha_{it} + \beta_1 * \text{Log}(PBI)_{1it} + \beta_2 * [\text{Log}(PBI)_{1it}]^2 + \beta_3 * AEDUC_{1it} \\ & + \beta_4 * \text{Log}(ELEC)_{1it} + \beta_5 * TURB_{1it} + \beta_6 * \text{Log}(POB)_{1it} + \beta_7 * MPAMB \\ & + \mu_{it} \end{aligned}$$

Donde:

$i = 1, 2, 3, 4, \dots, 7$ (regiones).

$t = 2009, 2015, 2016, \dots, 2023$ (años).

α_{it} = vector de intercepto.

β = Parámetro asociado a cada variable independiente

HE_{it} = Huella ecológica per cápita.

$(PBI)_{1it}$ = PBI per cápita total en términos reales

AEDUC = Años promedio de educación por la población de 15 y más años de edad

ELEC = Venta de energía eléctrica (Gigawatt hora)

TURB = Tasa de Urbanización (proporción)

POB = Población (número de personas)

MPAMB = Numero de Municipalidades que aplican políticas ambientales

u_t = Término de error aleatorio.

No obstante, para la contrastación de las hipótesis y de acuerdo con las estimaciones realizadas, el modelo final únicamente conservó dos variables de control, al ser las que resultaron estadísticamente relevantes. La justificación de esta selección y los resultados correspondientes se presentan de manera detallada en el apartado de resultados inferenciales. En consecuencia, la especificación final del modelo quedó expresada de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Log}(HE)_{rit} = & \alpha_{it} + \beta_1 * \text{Log}(PBI)_{1it} + \beta_2 * [\text{Log}(PBI)_{1it}]^2 \\ & + \beta_3 * TURB_{1it} + \beta_4 * \text{Log}(POB)_{1it} + \mu_{it} \end{aligned}$$

2.6. Operacionalización de variables y dimensiones

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Degradación ambiental (Variable dependiente)	Deterioro del entorno natural, manifestado en la consunción de recursos esenciales como el aire, el agua, el suelo y la vegetación (Pérez et al., 2021).	Medida por la huella ecológica, indicador que cuantifica el impacto ambiental de un individuo, comunidad, compañía, ciudad o país, en términos de la cantidad de recursos naturales que consume y los desechos que genera (Pérez et al., 2021).	Huella ecológica	Huella ecológica per cápita	Hectáreas globales (hag)
Crecimiento económico (Variable independiente)	Aumento cuantitativo de la renta y del valor de los bienes y prestaciones conclusivas forjadas en el régimen económico (Márquez et al., 2020).	Medido por el incremento de la producción total de prestaciones y recursos de una nación de un periodo entre la cantidad de habitantes (Ruiz, 2020).	PBI	PBI per cápita del sector primario PBI per cápita del sector secundario PBI per cápita del sector terciario	Miles de Soles
Población (Variable de Control)	Conjunto de individuos, constituido de forma estable, ligado por vínculos de reproducción e identificado por características territoriales y políticas. (Nuñez & Ramirez, 2019)	Población total del ámbito de estudio (país/región/provincia/distrito) medida como el número de habitantes en el año de referencia, según las proyecciones o resultados censales del INEI. (Nuñez & Ramirez, 2019)	Población	Habitantes	Número de habitantes
Tasa de Urbanización (Variable de Control)	Aumento de la población que vive en áreas urbanas o la velocidad con la que las personas se trasladan hacia ciudades y zonas con alta densidad poblacional en un determinado periodo (INEI, 2018).	Proporción de la población total que reside en áreas urbanas dentro de una región o territorio en un periodo determinado, según registros estadísticos oficiales. (INEI, 2018).	Concentración poblacional urbana	Porcentaje de población que vive en zonas urbanas respecto al total de la población	Proporción (%)

III. RESULTADOS

3.1. Resultados a nivel descriptivo

a) Crecimiento económico en comparación con la degradación ambiental por región, 2009 – 2023

Según la Figura 2, durante el período 2009–2015, el PBI per cápita de la región Apurímac registró un crecimiento gradual, pasando aproximadamente de S/ 3 800 a cerca de S/ 6 000. Este comportamiento refleja una economía regional de bajo dinamismo, sustentada principalmente en el sector primario tradicional y en actividades de servicios básicos. En estos años, el PBI primario y terciario per cápita crecieron de manera moderada, mientras que el PBI secundario mostró un avance limitado, lo que evidencia la ausencia de procesos de industrialización relevantes. En paralelo, la huella ecológica per cápita presentó un incremento leve, situándose alrededor de 1,0 a 1,2 hectáreas globales, lo que indica una presión ambiental aún contenida. Este desempeño económico estuvo influenciado por las políticas aplicadas durante el segundo gobierno de Alan García y el inicio del gobierno de Ollanta Humala, caracterizadas por la continuidad del modelo primario-exportador, la promoción de la inversión privada y la viabilización de grandes proyectos mineros, aunque sin impactos inmediatos significativos en el crecimiento regional.

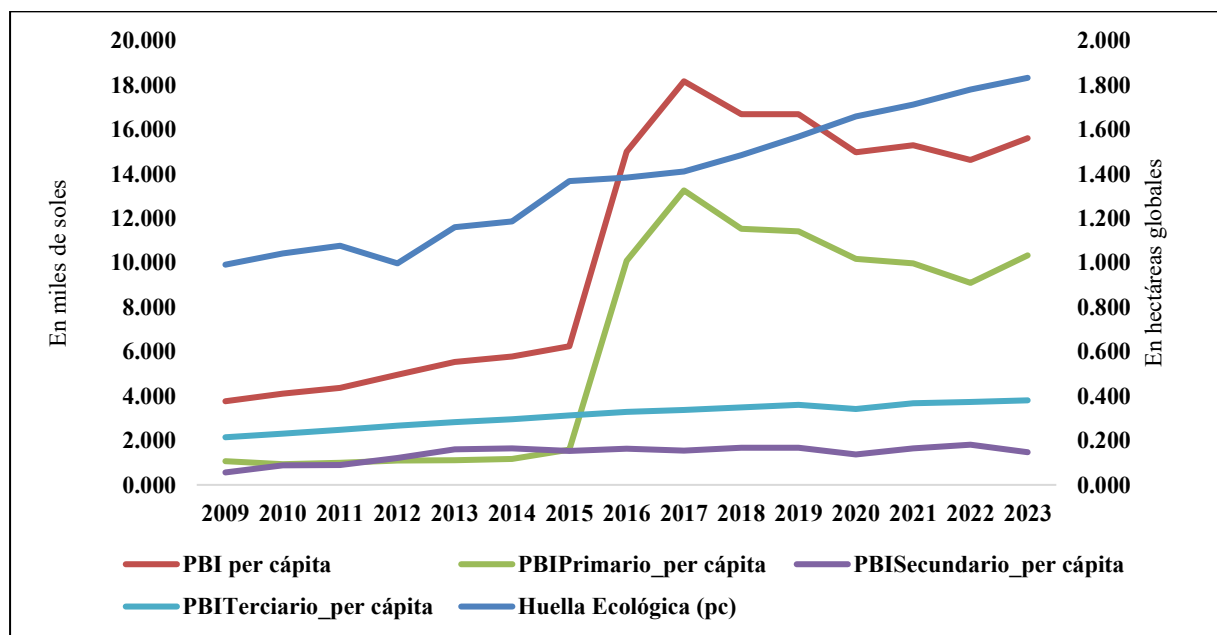
Entre 2015 y 2017 se produce un cambio estructural en la economía de Apurímac. En este corto período, el PBI per cápita se incrementó de manera abrupta, pasando de alrededor de S/ 6 500 en 2015 a valores cercanos a S/ 18 000 en 2017. Este crecimiento estuvo explicado casi exclusivamente por el fuerte aumento del PBI primario per cápita, que alcanzó aproximadamente S/ 12 000, asociado al inicio de la explotación minera a gran escala del proyecto Las Bambas. En

contraste, el PBI secundario y terciario per cápita continuaron creciendo de forma limitada, sin cambios estructurales significativos. Paralelamente, la huella ecológica per cápita aumentó de forma más acelerada, superando 1,5 hectáreas globales, lo que evidencia una mayor presión sobre los recursos naturales. Este período coincide con el final del gobierno de Ollanta Humala y el inicio del gobierno de Pedro Pablo Kuczynski, cuyas políticas priorizaron la atracción de inversión minera, el impulso a las exportaciones y el crecimiento económico, sin un énfasis equivalente en la sostenibilidad ambiental.

En el período 2019–2022, el PBI per cápita de Apurímac se mantuvo en niveles elevados, fluctuando alrededor de S/ 15 000, lo que refleja la consolidación del crecimiento basado en la actividad extractiva. Asimismo, el PBI terciario presentó una tendencia creciente, sustentada en la expansión del comercio, el transporte, las telecomunicaciones, los servicios financieros, la administración pública y otros servicios orientados a la población. No obstante, la economía regional continuó mostrando una marcada dependencia del sector minero. La huella ecológica per cápita continuó su tendencia ascendente, aproximándose a 1,7–1,8 hectáreas globales, lo que sugiere que la presión ambiental se mantuvo elevada. Este comportamiento se desarrolló bajo los gobiernos de Martín Vizcarra, Francisco Sagasti y el inicio del gobierno de Pedro Castillo, caracterizados por la continuidad del modelo económico primario-exportador, la ausencia de políticas regionales efectivas de diversificación productiva y una gestión ambiental limitada, lo que permitió sostener el crecimiento del PBI, pero sin reducir los impactos ambientales asociados.

Figura 2

PBI pc (total y sectorial) en comparación con la huella ecológica en la región de Apurímac, 2009 – 2023



Nota. INEI (2024); MINAM (2024).

Según la Figura 3, durante el período 2009–2013, el PBI per cápita de la región Huancavelica mostró una tendencia creciente pero moderada, pasando aproximadamente de S/ 6 000 a valores cercanos a S/ 7 800. Este comportamiento refleja una economía regional con crecimiento progresivo, sustentada principalmente en la actividad agropecuaria y minera, destacando la producción de minerales polimetálicos desarrollada en unidades mineras como la mina Cobriza, ubicada en la provincia de Churcampá. En estos años, el PBI primario per cápita presentó una evolución estable, mientras que el PBI secundario y terciario per cápita registraron incrementos graduales, evidenciando una estructura productiva poco diversificada y con limitada capacidad industrial. De manera paralela, la huella ecológica per cápita aumentó ligeramente, situándose alrededor de 0,7 a 0,8 hectáreas globales, lo que indica una presión ambiental relativamente baja. Este período coincide con el final del segundo gobierno de Alan García y los

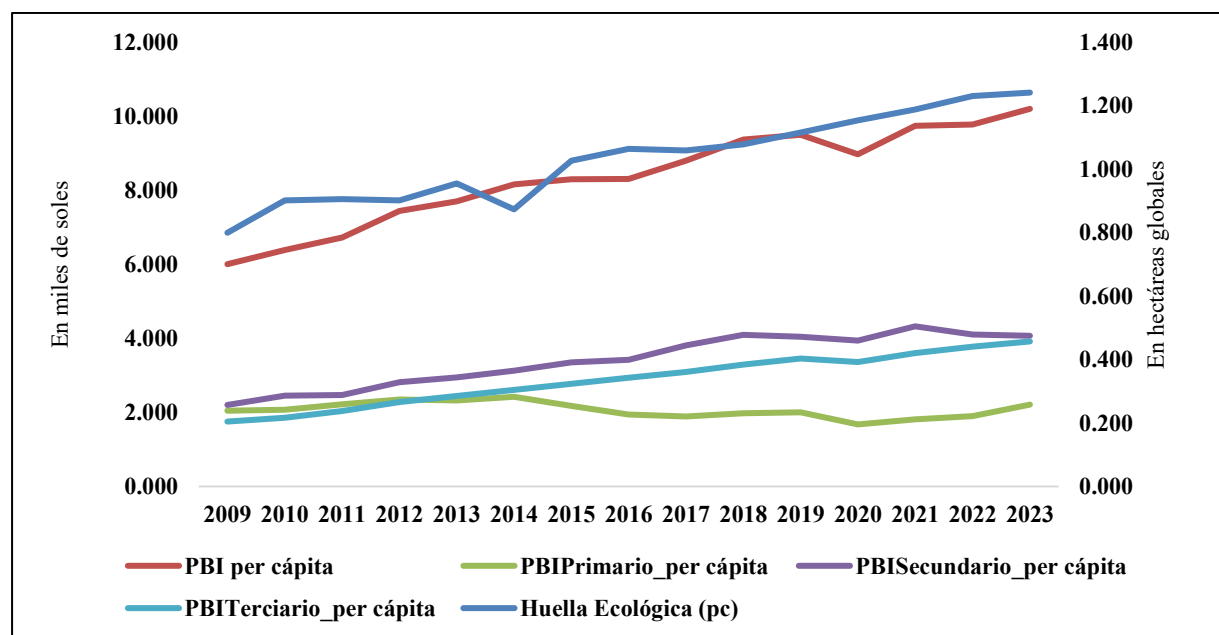
primeros años del gobierno de Ollanta Humala, caracterizados por políticas de continuidad del modelo primario-exportador y programas sociales orientados a reducir brechas, con efectos económicos graduales en la región.

Entre 2013 y 2014, el PBI per cápita de Huancavelica continuó creciendo, alcanzando aproximadamente los S/ 8 200, aunque con una ligera desaceleración en comparación con años previos. El crecimiento fue explicado principalmente por el aumento del PBI terciario per cápita, impulsado por las actividades de comercio, transporte y servicios públicos, y en menor medida por el PBI secundario asociado a la construcción. Por otro lado, el PBI primario mostró una leve reducción debido a la menor dinámica de las actividades agropecuarias y de la producción minera, incluyendo operaciones como la mina Cobriza, lo que evidencia la vulnerabilidad de la economía regional frente a las fluctuaciones de los sectores extractivos. En este mismo período, la huella ecológica per cápita se mantuvo relativamente estable, alrededor de 0,8 a 0,9 hectáreas globales, reflejando un crecimiento económico que aún no generaba una presión ambiental significativa. Este comportamiento se desarrolló bajo el gobierno de Ollanta Humala, en un contexto de consolidación de políticas económicas orientadas a la inversión pública y social. Durante el año 2020, la economía de Huancavelica experimentó una ligera caída del PBI per cápita como consecuencia del impacto de la pandemia de la COVID-19 y de las restricciones a la actividad económica. La contracción afectó principalmente a los sectores secundario y terciario, debido a la paralización parcial de actividades productivas, comerciales y de servicios. El sector primario mostró una mayor resiliencia, lo que permitió amortiguar la magnitud de la caída económica regional. En términos ambientales, la huella ecológica per cápita evidenció una leve desaceleración en su crecimiento, asociada a la reducción del consumo, la movilidad y la actividad económica en general. Este período se desarrolló bajo el gobierno de Martín Vizcarra,

cuyas políticas se enfocaron en la emergencia sanitaria y en medidas económicas transitorias, permitiendo que la caída del PBI regional fuera moderada y de carácter temporal.

Figura 3

PBI pc (total y sectorial) en comparación con la huella ecológica en la región de Huancavelica, 2009 – 2023



Nota. INEI (2024); MINAM (2024).

Según la Figura 4, en Junín, durante el período 2011 al 2014, el PBI per cápita de la región presentó un crecimiento moderado, pasando de aproximadamente S/ 7 800 a S/ 9 000. Este incremento estuvo impulsado principalmente por el sector terciario, relacionado con las actividades de comercio, transporte, servicios financieros, educación y servicios públicos, que lideraron el crecimiento económico en este período. El sector primario también mostró avances moderados debido al dinamismo de la agricultura, especialmente en la producción de café, papa, maíz y cítricos, así como por la actividad minera desarrollada en unidades como la mina Toromocho. Por su parte, el sector secundario presentó una evolución menos pronunciada, vinculada principalmente a la construcción y a pequeñas actividades manufactureras. En

términos de huella ecológica, esta registró una ligera tendencia ascendente, situándose alrededor de 1,1 hectárea global por habitante, lo que refleja un incremento progresivo en la presión sobre los recursos naturales debido al crecimiento económico. Este comportamiento se desarrolló bajo el gobierno de Ollanta Humala, quien impulsó políticas de promoción de la inversión minera, infraestructura y programas sociales, buscando fortalecer la economía nacional, con un impacto positivo pero aún limitado en la región.

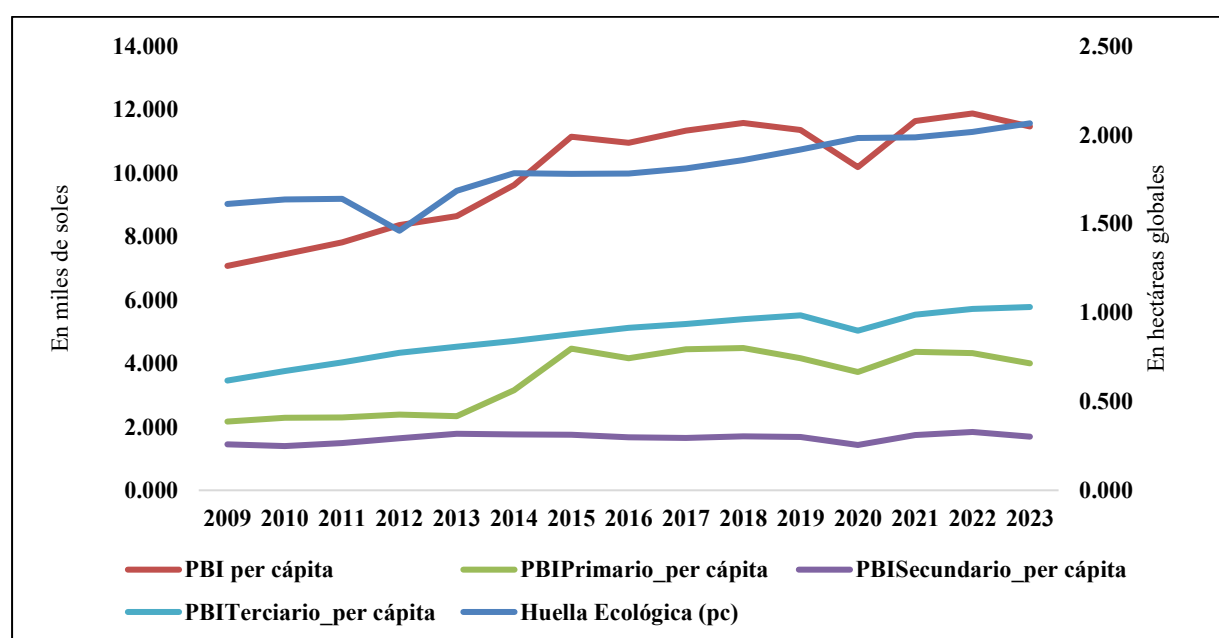
En el período 2015 al 2018, Junín experimentó un crecimiento más robusto, con el PBI per cápita alcanzando valores cercanos a S/ 10 500 en 2018. El sector terciario continuó siendo el motor principal de este crecimiento, especialmente mediante la expansión del comercio, el transporte, las telecomunicaciones y otros servicios concentrados principalmente en la ciudad de Huancayo. A la par, el PBI primario también presentó un aumento considerable, impulsado por la agricultura comercial y por la actividad minera, destacando la producción de cobre proveniente de la mina Toromocho. Por otro lado, el sector secundario registró avances más modestos, asociados principalmente a la construcción y a la manufactura de bienes de consumo para el mercado regional. La huella ecológica per cápita creció de manera sostenida, alcanzando aproximadamente 1,4 hectáreas globales, lo que indica una mayor presión sobre los recursos naturales debido a la expansión de las actividades productivas. Este período estuvo marcado por la continuación del gobierno de Ollanta Humala y el inicio del gobierno de Pedro Pablo Kuczynski, quienes implementaron políticas que favorecieron la continuidad del modelo extractivo y la expansión de la infraestructura, aunque sin una diversificación significativa en la estructura productiva regional.

En 2020, Junín experimentó una caída temporal en el PBI per cápita como consecuencia de la crisis generada por la pandemia de la COVID-19. La contracción fue más notable en los sectores

terciario y secundario, afectados por las restricciones en actividades comerciales, industriales y de servicios. Sin embargo, el sector primario, particularmente la agricultura y la minería, mostró mayor resiliencia frente a la crisis. La huella ecológica per cápita experimentó una desaceleración en su crecimiento, asociado a la reducción de la actividad económica general y la menor movilidad, lo que resultó en una leve disminución de la presión sobre los ecosistemas.

Figura 4

PBI pc (total y sectorial) en comparación con la huella ecológica en la región de Junín, 2009 – 2023



Nota. INEI (2024); MINAM (2024).

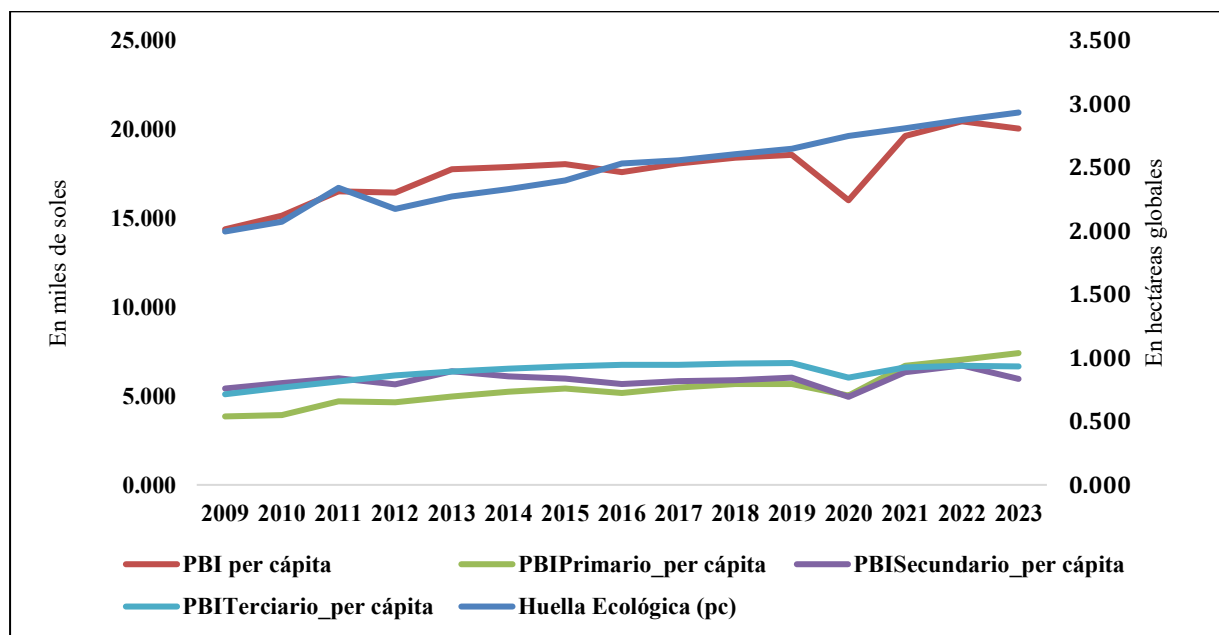
Según la Figura 5, entre 2009 y 2018, la región de Ica registró un crecimiento sostenido del PBI per cápita, impulsado principalmente por el sector terciario, que se consolidó como el eje de la dinámica económica regional a través de la expansión del comercio, el transporte, los servicios financieros, el turismo y las actividades logísticas vinculadas al comercio exterior. Asimismo, el sector primario mostró un avance progresivo, asociado a la expansión de la agricultura de exportación, destacando la producción de uva, espárrago, palta y arándano,

cultivos que fortalecieron la competitividad regional en los mercados internacionales. Por su parte, el sector secundario presentó incrementos más moderados, impulsados principalmente por la agroindustria exportadora, la manufactura de alimentos y bebidas, y las actividades de construcción. En paralelo, la huella ecológica per cápita aumentó de manera gradual, reflejando una mayor presión sobre los recursos naturales, especialmente vinculada al uso intensivo del suelo y del agua para la producción agrícola, lo que evidencia que el crecimiento económico se desarrolló bajo un patrón poco desacoplado del impacto ambiental.

En el año 2019 se observa una ruptura en la tendencia de crecimiento, con una caída del PBI per cápita en 2020 como consecuencia de la pandemia de la COVID-19, afectando principalmente a los sectores terciario y secundario, mientras que el sector primario mostró mayor resiliencia. De forma consistente, la huella ecológica per cápita disminuyó temporalmente, asociada a la reducción de la actividad económica y la movilidad, lo que sugiere una menor presión ambiental de corto plazo, aunque sin cambios estructurales en el modelo productivo regional.

Figura 5

PBI pc (total y sectorial) en comparación con la huella ecológica en la región de Ica, 2009 – 2023



Nota. INEI (2024); MINAM (2024).

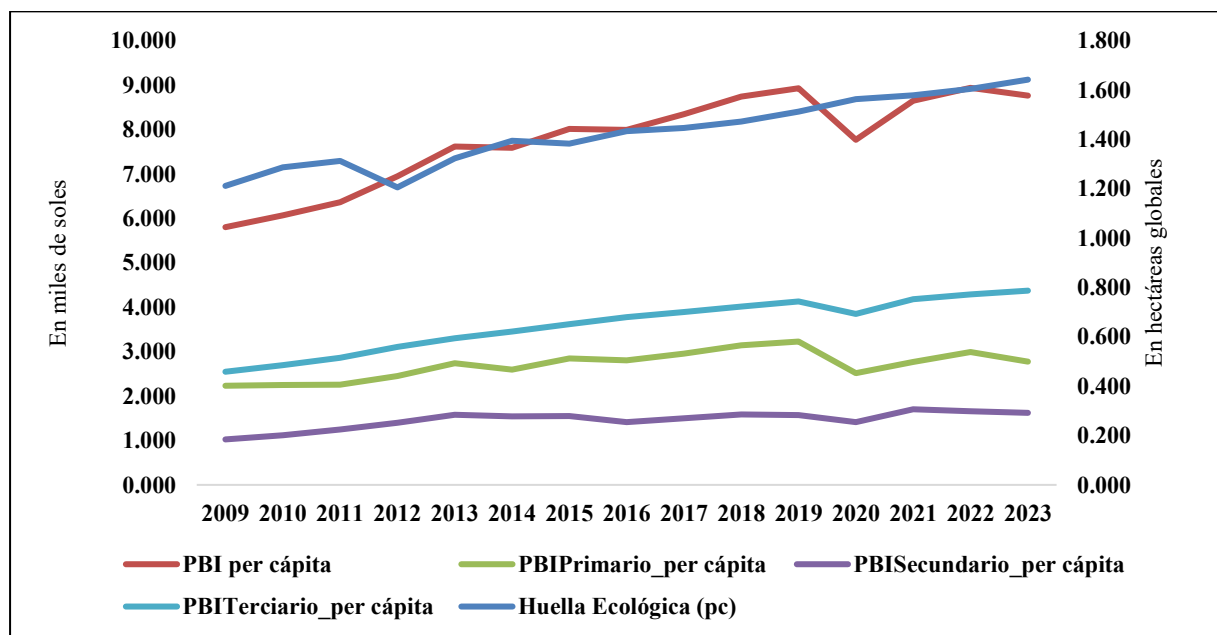
Según la Figura 6, durante el período 2009 al 2018, el PBI per cápita de la región Ayacucho mostró una tendencia de crecimiento sostenido, pasando aproximadamente de S/ 6 000 a valores cercanos a S/ 8 800. Este incremento estuvo impulsado principalmente por el crecimiento progresivo del sector terciario, asociado a las actividades de comercio, transporte, servicios públicos, educación y administración pública, así como por una evolución moderada del sector primario. Este último estuvo sustentado en la producción agropecuaria, destacando cultivos como papa, maíz amiláceo y quinua, además de la actividad ganadera y minera, en la que sobresalen operaciones como las minas Inmaculada y Pallancata. Por su parte, el PBI secundario per cápita presentó un crecimiento limitado durante todo el período, vinculado principalmente a las actividades de construcción y pequeñas industrias manufactureras, lo que evidencia una estructura productiva con baja industrialización. En paralelo, la huella ecológica

per cápita aumentó de manera gradual, pasando de alrededor de 1,2 a cerca de 1,5 hectáreas globales, lo que refleja una presión ambiental creciente asociada al aumento de la actividad económica. Este comportamiento se desarrolló bajo los gobiernos de Alan García y Ollanta Humala, y posteriormente durante el inicio del gobierno de Pedro Pablo Kuczynski, caracterizados por la continuidad del modelo económico y el impulso a la inversión pública y privada, con efectos positivos pero moderados en la economía regional.

En el período 2019–2020 se observa una interrupción en la trayectoria de crecimiento del PBI per cápita de Ayacucho. En 2019, el indicador alcanzó su nivel más alto, cercano a S/ 9 000, mientras que en 2020 se registra una caída temporal asociada al impacto de la pandemia de la COVID-19. Esta contracción afectó principalmente a los sectores terciario y secundario, debido a la paralización parcial de actividades comerciales, de transporte, construcción y otros servicios, mientras que el sector primario mostró una mayor resiliencia gracias a la continuidad de las actividades agropecuarias y mineras, incluyendo operaciones como Inmaculada y Pallancata. En términos ambientales, la huella ecológica per cápita evidenció una desaceleración en su crecimiento durante 2020, relacionada con la reducción del consumo y la movilidad. Este período se desarrolló bajo el gobierno de Martín Vizcarra, cuyas políticas se centraron en la emergencia sanitaria y en medidas económicas de corto plazo, permitiendo que la caída del PBI regional fuera moderada y de carácter transitorio.

Figura 6

PBI pc (total y sectorial) en comparación con la huella ecológica en la región de Ayacucho, 2009 – 2023



Nota. INEI (2024); MINAM (2024).

Según la Figura 7, en Huánuco, entre los años 2009 y 2018 se presentó un crecimiento sostenido del PBI per cápita, que pasó de niveles cercanos a S/ 4 800 a aproximadamente S/ 7 800. Este incremento estuvo impulsado principalmente por el sector terciario, el cual mostró una expansión continua asociada al comercio, el transporte, las telecomunicaciones, los servicios financieros y la administración pública. El sector primario también evidenció un crecimiento gradual, vinculado principalmente a la producción agrícola de café, cacao, plátano, palma aceitera y otros cultivos orientados tanto al mercado interno como externo, así como a actividades pecuarias y extractivas de menor escala. Por su parte, el sector secundario registró avances moderados, sustentados principalmente en la construcción y en pequeñas actividades manufactureras relacionadas con el procesamiento de productos agrícolas. En paralelo, la huella

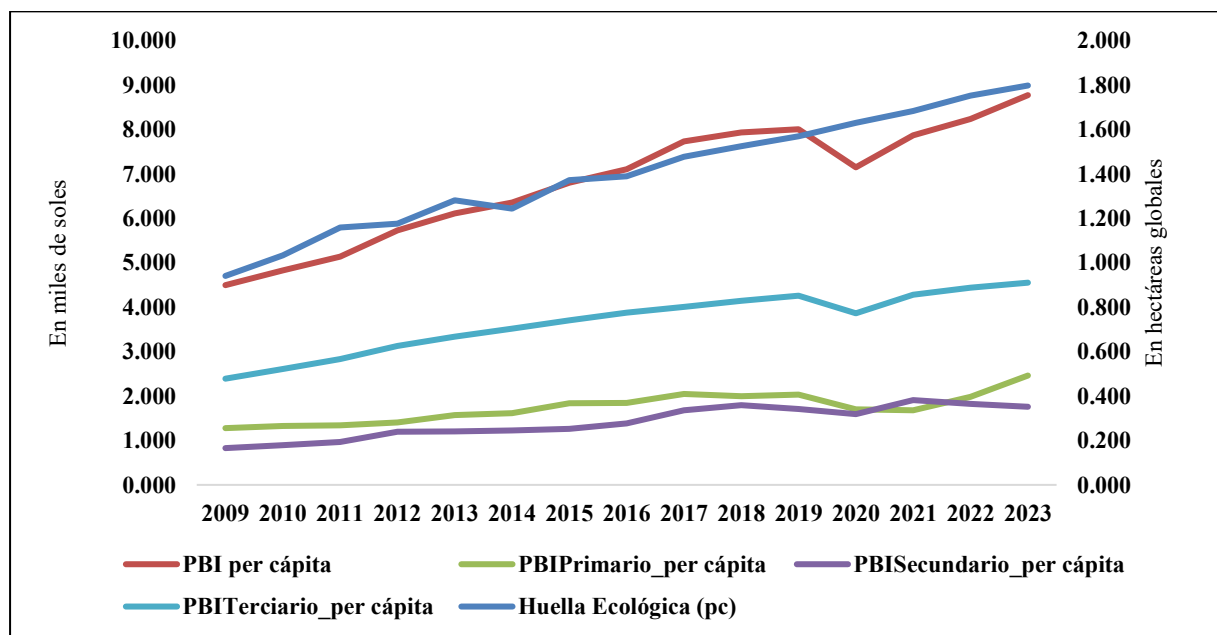
ecológica per cápita aumentó de forma progresiva, reflejando una mayor presión ambiental asociada al incremento de la actividad económica y al consumo de recursos.

Durante el período 2019–2020 se observa una interrupción en la tendencia creciente, con una caída del PBI per cápita en 2020 como resultado del impacto de la pandemia de la COVID-19. La contracción afectó principalmente al sector terciario debido a la paralización parcial de las actividades comerciales, de transporte y de servicios, así como al sector secundario por la reducción de las actividades de construcción y manufactura. En contraste, el sector primario mostró una mayor resiliencia gracias a la continuidad de la producción agrícola, especialmente de café, cacao, plátano y palma aceitera. De manera consistente, la huella ecológica per cápita presentó una leve disminución, asociada a la reducción de la actividad económica y de la movilidad, lo que implicó una menor presión ambiental en el corto plazo.

Entre 2021 y 2023, Huánuco evidenció una recuperación gradual del PBI per cápita, superando los niveles prepandemia hacia 2023, con un renovado impulso del sector terciario debido a la reactivación del comercio, el transporte y los servicios. Asimismo, los sectores primario y secundario mostraron una recuperación moderada, favorecida por el desempeño de la agricultura comercial, especialmente de café, cacao y palma aceitera, así como por la reactivación de las actividades de construcción y manufactura. En este contexto, la huella ecológica per cápita retomó su tendencia creciente, alcanzando valores cercanos a 1,8 hectáreas globales, lo que sugiere que la reactivación económica volvió a traducirse en una mayor presión sobre los ecosistemas, manteniéndose un patrón de crecimiento con limitada desvinculación entre desempeño económico e impacto ambiental.

Figura 7

PBI pc (total y sectorial) en comparación con la huella ecológica en la región de Huánuco, 2009 – 2023



Nota. INEI (2024); MINAM (2024).

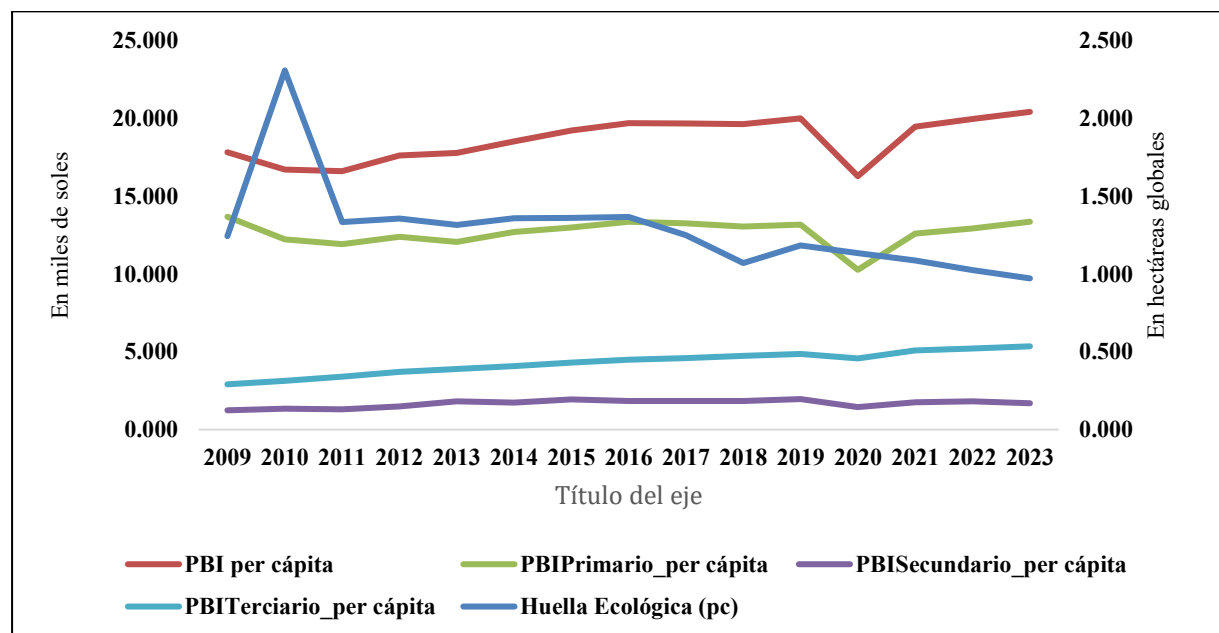
Según la Figura 8, en Pasco, entre 2009 y 2010, y durante el segundo gobierno de Alan García (2006–2011), se registró un aumento abrupto de la huella ecológica per cápita, que alcanzó su valor máximo del período, mientras el PBI per cápita se mantuvo relativamente estable. Este comportamiento se dio en un contexto nacional de promoción activa de la inversión minera y extractiva, respaldada por políticas de estabilidad jurídica y altos precios internacionales de los minerales. En la región Pasco, actividades mineras desarrolladas en unidades como Cerro de Pasco, El Brocal y Atacocha intensificaron la extracción de cobre, zinc, plomo y plata, incrementando la demanda de energía, agua y materiales, así como la generación de residuos. Como resultado, la presión ambiental aumentó significativamente sin generar un incremento proporcional del ingreso per cápita, evidenciando la fuerte dependencia regional de las actividades extractivas.

En el período 2010–2011, aún bajo el gobierno de Alan García, se observa una reducción abrupta de la huella ecológica per cápita, retornando a niveles más cercanos a su tendencia de largo plazo. Este comportamiento coincide con una estabilización de la actividad minera en operaciones como Cerro de Pasco, El Brocal y Atacocha, tras los picos productivos observados en años previos, en un contexto de continuidad del modelo económico, pero sin nuevos impulsos extraordinarios al sector extractivo. La relativa estabilidad del PBI per cápita indica que la menor presión ambiental respondió a una reducción en la intensidad del uso de recursos, más que a una contracción económica generalizada, reflejando la volatilidad ambiental propia de economías regionales altamente dependientes de la minería.

Durante el período 2019–2020, bajo el gobierno de Martín Vizcarra (2018–2020), Pasco experimentó una ligera caída del PBI per cápita como consecuencia de las medidas de emergencia sanitaria adoptadas frente a la pandemia de la COVID-19, que incluyeron cuarentenas, restricciones a la movilidad y paralización de actividades no esenciales. Estas políticas afectaron principalmente al sector terciario, debido a la reducción de las actividades comerciales y de servicios, y al sector secundario, vinculado a la construcción y algunas actividades manufactureras. Sin embargo, el sector primario mostró una mayor resiliencia gracias a la continuidad parcial de la actividad minera en unidades como Cerro de Pasco, El Brocal y Atacocha, consideradas estratégicas para la economía nacional. La huella ecológica per cápita también disminuyó de manera moderada, reflejando la reducción temporal de la actividad económica.

Figura 8

PBI pc (total y sectorial) en comparación con la huella ecológica en la región de Pasco, 2009 – 2023



Nota. INEI (2024); MINAM (2024).

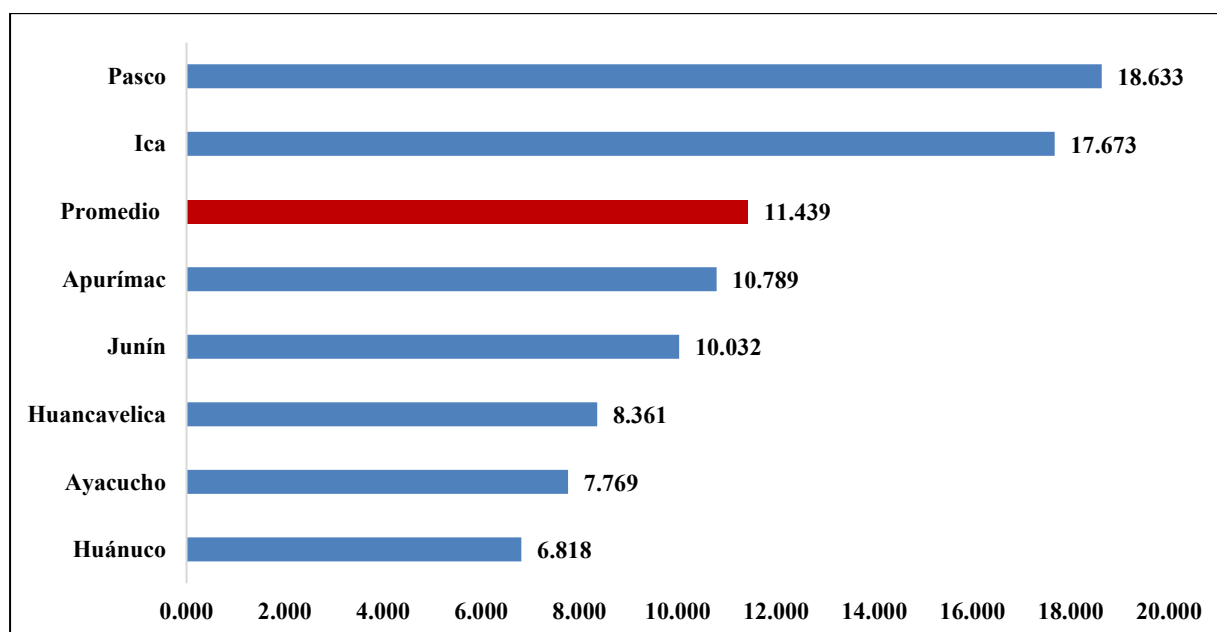
En base a lo antes expuesto, regiones con mayor dinamismo económico, como Ica y Apurímac, presentan huellas ecológicas más elevadas, lo que confirma que el crecimiento basado en actividades extractivas e intensivas en recursos tiene mayores efectos ambientales; por su parte, regiones con menor PBI, como Huancavelica o Ayacucho, también muestran incrementos en la huella, aunque con menor magnitud, lo que evidencia que incluso con un crecimiento limitado la presión ambiental persiste.

b) Crecimiento económico y degradación ambiental promedio en la macro región centro del Perú, 2009 – 2023

Según la Figura 9, el PBI pc total promedio en la macro región centro del Perú, durante el periodo 2009 – 2023, evidencia una marcada heterogeneidad territorial. Si bien no se presentan cifras exactas en la figura, la tendencia muestra que departamentos como Pasco e Ica se consolidan como polos económicos con un PBI pc sustancialmente superior al promedio regional, lo que indica un mayor dinamismo productivo, diversificación sectorial y capacidad para generar valor agregado; por el contrario, departamentos como Ayacucho y Huánuco se ubican consistentemente en la parte baja de la distribución, reflejando estructuras productivas menos diversificadas, mayor dependencia de actividades de subsistencia y una menor inserción en cadenas productivas de alto valor. Esta disparidad revela la existencia de brechas estructurales que limitan el desarrollo homogéneo de la región y que podrían estar asociadas tanto a factores geográficos como a restricciones de infraestructura y capital humano.

Figura 9

PBI pc total promedio en la macro región centro del Perú, 2009 – 2023 (en miles de soles)



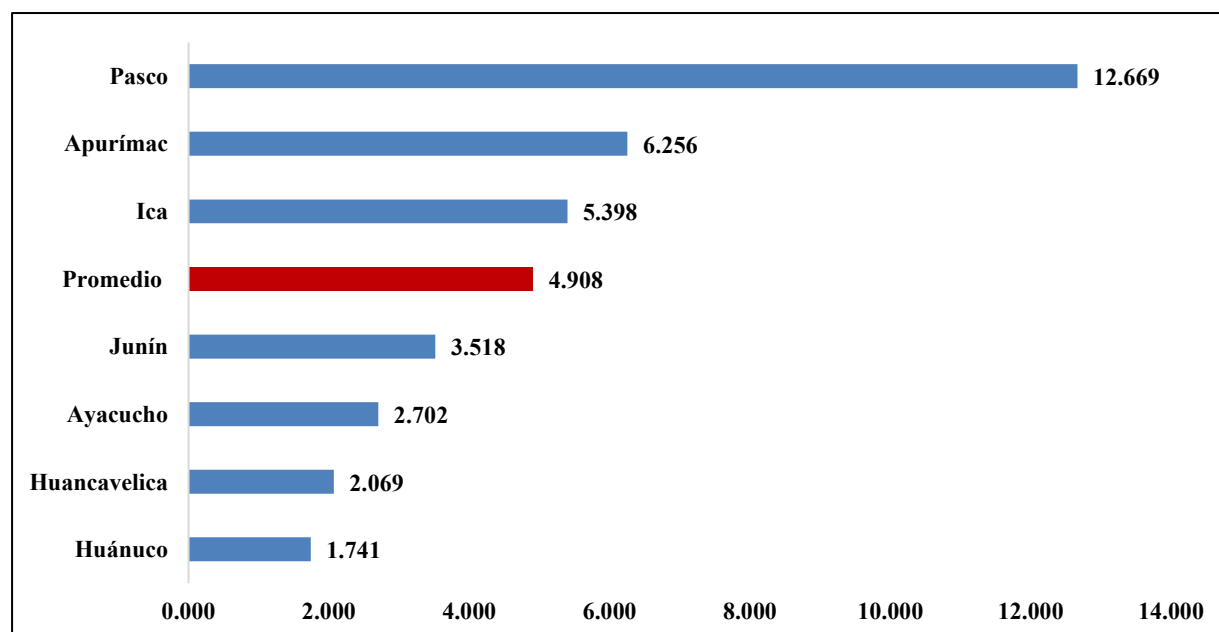
Nota. INEI (2024); MINAM (2024).

Según la Figura 10, en el análisis del sector primario, que comprende principalmente actividades agropecuarias, extractivas y pesqueras, se observa una dispersión significativa de los valores entre los departamentos de la macrorregión centro. Los niveles más bajos se registran en Huánuco (1 741 soles), Huancavelica (2 069 soles) y Ayacucho (2 702 soles), evidenciando una menor intensidad productiva asociada principalmente a actividades agropecuarias tradicionales, como el cultivo de café, cacao, plátano y palma aceitera en Huánuco; papa y ganadería en Huancavelica; y papa, maíz amiláceo, quinua y ganadería en Ayacucho. En un nivel intermedio se encuentra Junín (3 518 soles), cuyo desempeño se sustenta en la producción de café, cítricos, papa y en la actividad minera representada por operaciones como Toromocho, aunque aún se mantiene por debajo del promedio regional (4 908 soles). Por su parte, Ica (5 398 soles) refleja una mayor integración a los mercados nacionales e internacionales gracias al dinamismo de la agroexportación, destacando cultivos como uva, espárrago, palta y arándano. Finalmente,

Apurímac (6 256 soles) y, especialmente, Pasco (12 669 soles) destacan como los territorios con mayor PBI per cápita en este sector, impulsados principalmente por la actividad minera. En Apurímac sobresale la producción de cobre asociada al proyecto minero Las Bambas, mientras que en Pasco destacan las operaciones mineras de Cerro de Pasco, El Brocal y Atacocha, orientadas a la extracción de cobre, zinc, plomo y plata. La brecha entre el valor más alto y el más bajo asciende a 10 928 soles, lo que confirma una concentración productiva significativa en pocos territorios, con implicancias directas en la distribución del ingreso y el empleo.

Figura 10

PBI pc del sector primario promedio en la macro región centro del Perú, 2009 – 2023 (en miles de soles)



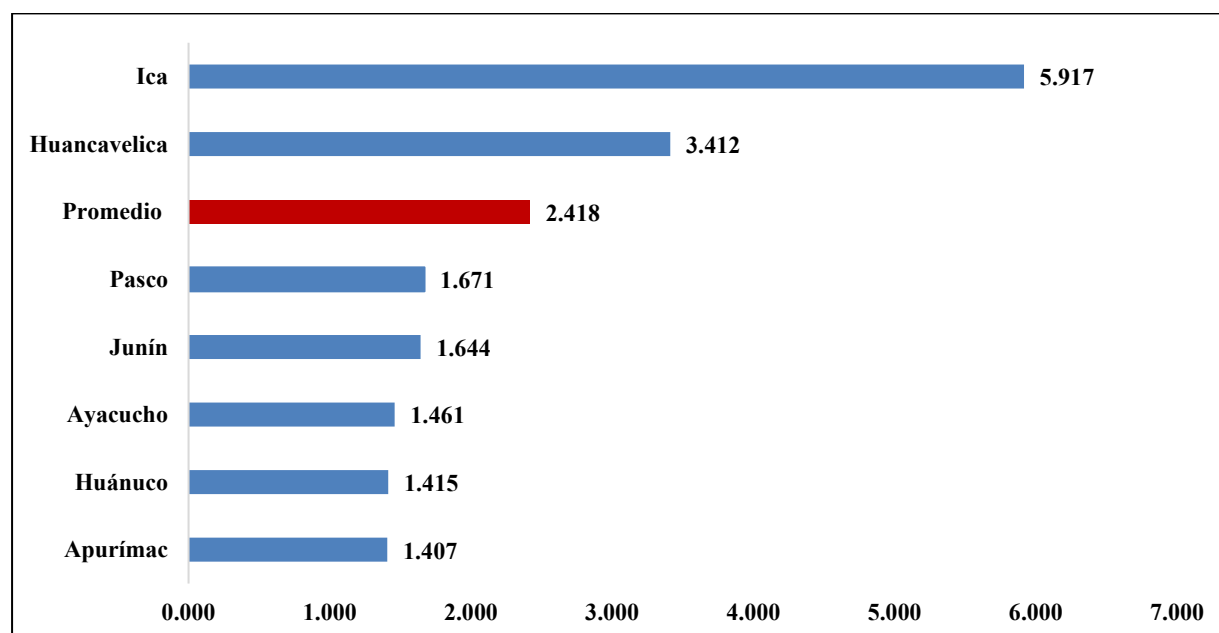
Nota. INEI (2024); MINAM (2024).

Según la Figura 11, en el caso del sector secundario, que abarca actividades manufactureras, industriales y de construcción, el patrón observado sugiere una concentración en departamentos con mayor infraestructura y desarrollo industrial; incluso, se evidencia que Ica y Huancavelica son los principales motores de la actividad secundaria en la región, beneficiándose

de su ubicación estratégica, acceso a vías de transporte y presencia de clústeres industriales y mineros, por el contrario, Huánuco y Apurímac se posicionan en los niveles más bajos de producción per cápita en este sector, lo que podría estar relacionado con una menor inversión en capacidades productivas, limitaciones tecnológicas y escasa atracción de capital privado. Esta desigualdad sugiere que el sector secundario no se desarrolla de manera uniforme y que su crecimiento está fuertemente vinculado a ventajas comparativas locales.

Figura 11

PBI pc del sector secundario promedio en la macro región centro del Perú, 2009 – 2023 (en miles de soles)



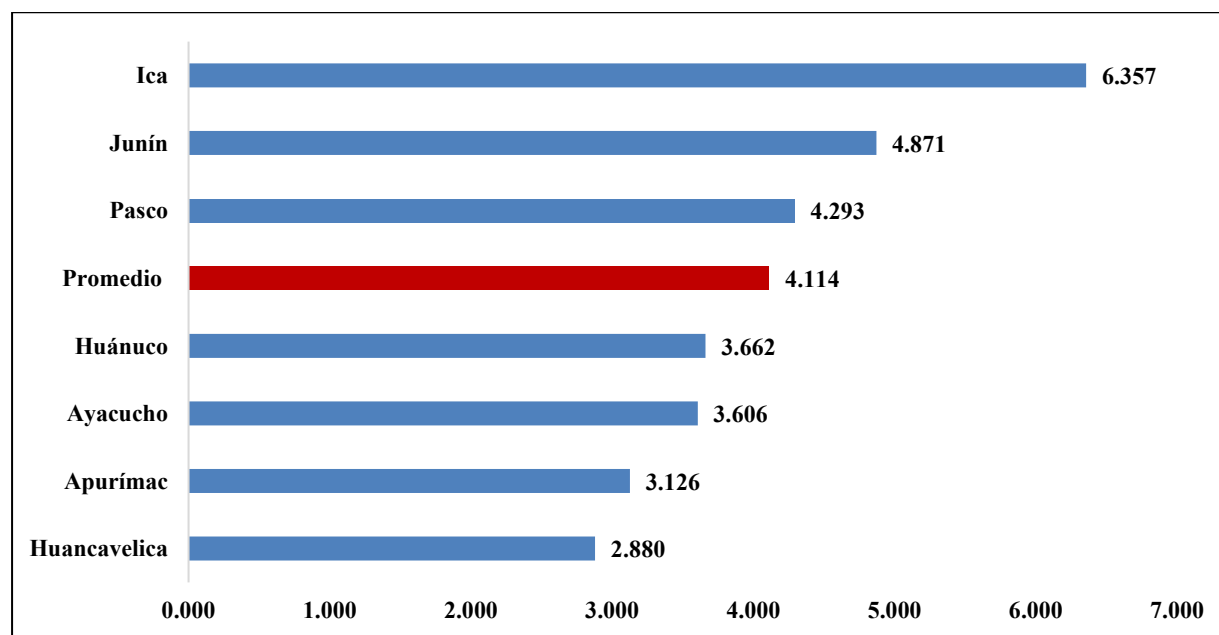
Nota. INEI (2024); MINAM (2024).

Según la Figura 12, el sector terciario, que incluye actividades de comercio, transporte, servicios financieros, turismo, telecomunicaciones, educación, salud y administración pública, presenta una marcada variabilidad interna entre los departamentos de la macrorregión centro. El primer bloque de datos del gráfico revela que Ica lidera con 6 357 soles, seguido por Junín (4 871 soles). En el caso de Ica, este desempeño está asociado al dinamismo del comercio exterior y

los servicios logísticos vinculados a la agroexportación. Por su parte, Junín destaca por la importancia de Huancayo como centro comercial y de servicios de la sierra central, concentrando actividades de transporte y comercio. En contraste, Huancavelica (2 880 soles) y Apurímac (3 126 soles) se ubican en la parte baja de la distribución, debido a que predominan actividades comerciales y de servicios, con menor grado de especialización y limitada articulación a mercados de mayor escala. Asimismo, el promedio regional se sitúa en 4 114 soles. El contraste sugiere que el crecimiento del sector terciario está fuertemente condicionado por el grado de urbanización, el poder adquisitivo, la conectividad regional y la capacidad de articulación con actividades económicas más dinámicas.

Figura 12

PBI pc del sector terciario promedio en la macro región centro del Perú, 2009 – 2023 (en miles de soles)



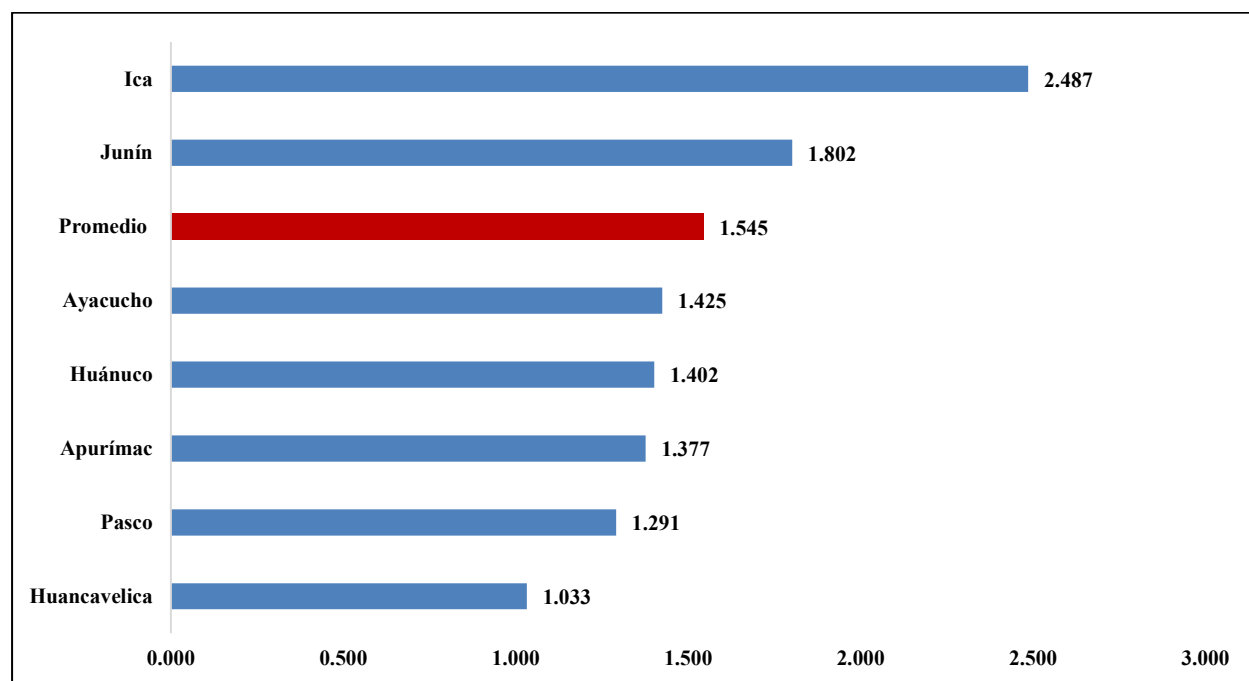
Nota. INEI (2024); MINAM (2024).

Según la Figura 13, el análisis de la huella ecológica pc, indicador que mide el impacto ambiental derivado del consumo de recursos y la generación de desechos, muestra diferencias

sustanciales entre los departamentos. En el primer bloque de datos, Ica presenta el mayor valor con 2.487, seguido de Junín (1.802), todos por encima del promedio regional de 1.545, lo que sugiere una mayor presión ambiental asociada a actividades productivas intensivas, tanto agrícolas como industriales. En contraste, Huancavelica (1.033) y Pasco (1.291) registran los niveles más bajos, posiblemente debido a su menor escala productiva y menor grado de urbanización. La amplitud de estas diferencias confirma que la presión sobre los ecosistemas no es homogénea y depende de la intensidad y el tipo de actividades económicas desarrolladas en cada territorio.

Figura 13

Huella ecológica pc promedio en la macro región centro del Perú, 2009 – 2023 (en hectáreas globales)



Nota. INEI (2024); MINAM (2024).

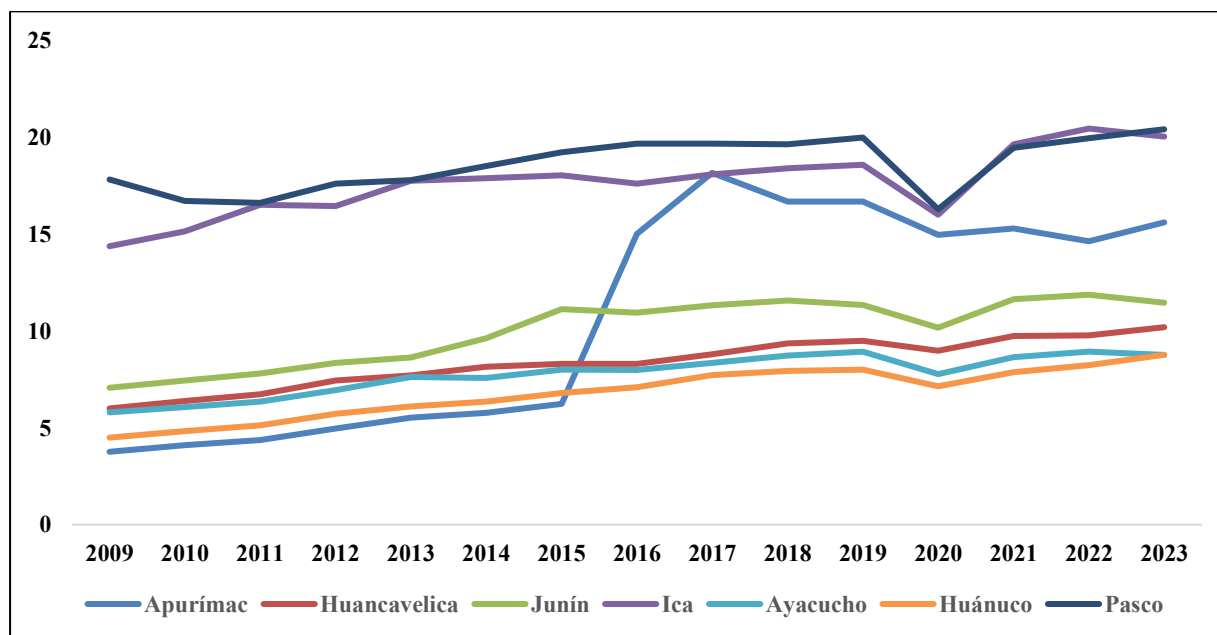
**c) Comportamiento del crecimiento económico en la macro región centro del Perú,
2009 – 2023**

En la Figura 14 se reconoce la tendencia fluctuante del PBI pc total de la macro región centro. En ese sentido, durante el periodo analizado se evidencia la prevalencia de una tasa de crecimiento promedio anual (tcpa) de 9.94% para el caso de Apurímac, seguido por Huánuco con 4.55%, por su parte, Huancavelica, Junín, Ayacucho, Ica y Pasco registraron una tcpa de 3.59%, 3.27%, 2.78%, 2.23% y 0.91% respectivamente; por lo tanto, en un marco general, el PBI pc total conservó una tcpa de 4.39% en la macro región centro.

Asimismo, en el periodo 2009 – 2023, el departamento de Ica mostró el mejor comportamiento económico dentro de la macro región centro, evidenciado por un notable incremento en su PBI pc. En 2009, Ica registraba un valor superior a los 14 000 soles por persona, y a partir de 2015 inició un crecimiento acelerado que lo llevó a superar los 18 000 soles, además, alcanzó un monto superior a los 20 000 soles pc en 2023, este incremento representa un crecimiento de más del 39% en el periodo analizado. A diferencia de otros departamentos como Huancavelica, Ayacucho o Huánuco, que mantuvieron niveles por debajo de los 10 000 soles, Ica no solo superó ampliamente este umbral, sino que también mostró una recuperación rápida tras la caída de 2020, asociada a la pandemia, por ello, su curva ascendente, con menor volatilidad en comparación con Junín o Pasco, refleja una economía regional más dinámica, resiliente y sostenida en el tiempo.

Figura 14

Comportamiento del PBI pc en los departamentos de la Macro Región Centro, 2009 – 2023
(miles de soles por persona)



Nota. INEI (2024)

En la Figura 15 se reconoce la tendencia fluctuante del PBI pc primario que involucra los sectores de minería, silvicultura, pesca, caza, ganadería y agricultura de la macro región centro. En ese sentido, durante el periodo analizado se evidencia la prevalencia de una tcapa de 16.39% para el caso de Apurímac, seguido por Huánuco con 4.47%, por su parte, Ica, Junín, Ayacucho y Huancavelica registraron una tcapa de 4.46%, 4.17%, 1.45% y 0.507% respectivamente; no obstante, Pasco registró una tcapa negativa de -0.15%. Por lo tanto, en un marco general, el PBI pc en el sector primario conservó una tcapa de 4.47% en la macro región centro.

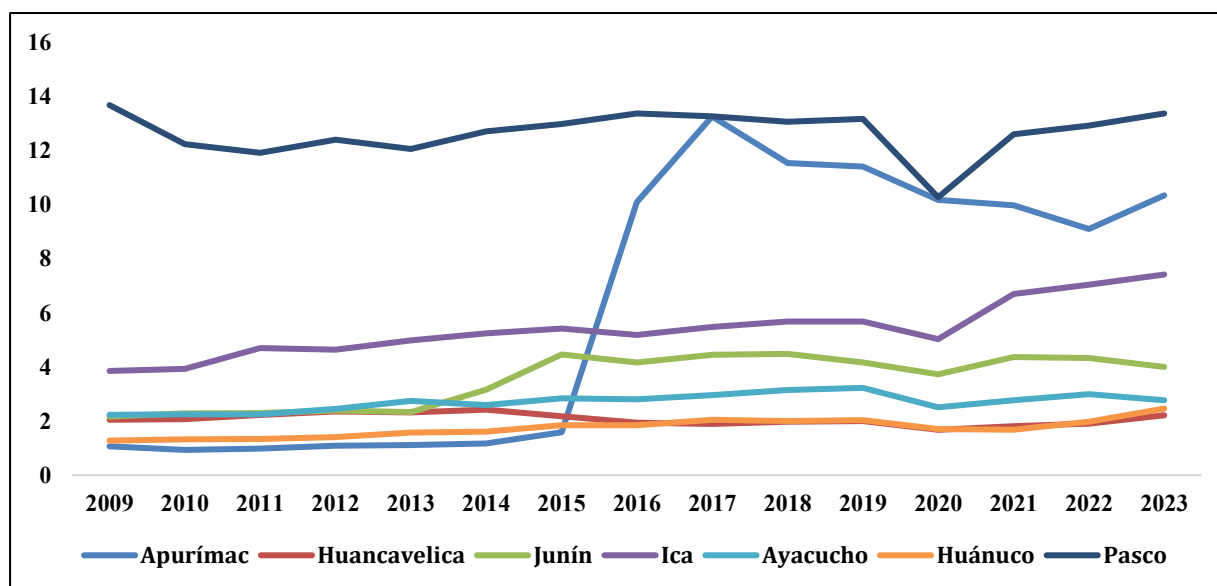
Respecto a Pasco, se visualiza que el PBI del sector primario para el año 2010 registró una caída de 10.6%, respecto al año previo, siendo ello explicado por la disminución drástica de las exportaciones mineras a causa de la crisis del 2008 y dicho efecto se mantuvo hasta el 2012, para luego registrar una tendencia creciente hasta el 2016, pero posterior a ello, el PBI per

cápita cayó en 0.8% en 2017 y 22% en el 2020 a consecuencia de la COVID – 19, pero luego de ello se recuperaron los niveles alcanzados durante pre pandemia y se finalizó con un valor 13 369 soles por persona en el 2023, es decir, 3.4% mayor al registrado en el año previo.

Adicionalmente, en Apurímac se registró una subida representativa de 1 061 soles por persona en el 2009 a 10 342 soles por persona en el 2023 y ello simbolizó un crecimiento de 874%, siendo ello explicado por el incremento de la producción minera, especialmente del cobre a raíz del inicio de operaciones a plena capacidad de la mina Las Bambas.

Figura 15

Comportamiento del PBI primario en los departamentos de la Macro Región Centro, 2009 – 2023 (miles de soles por persona)



Nota. INEI (2024)

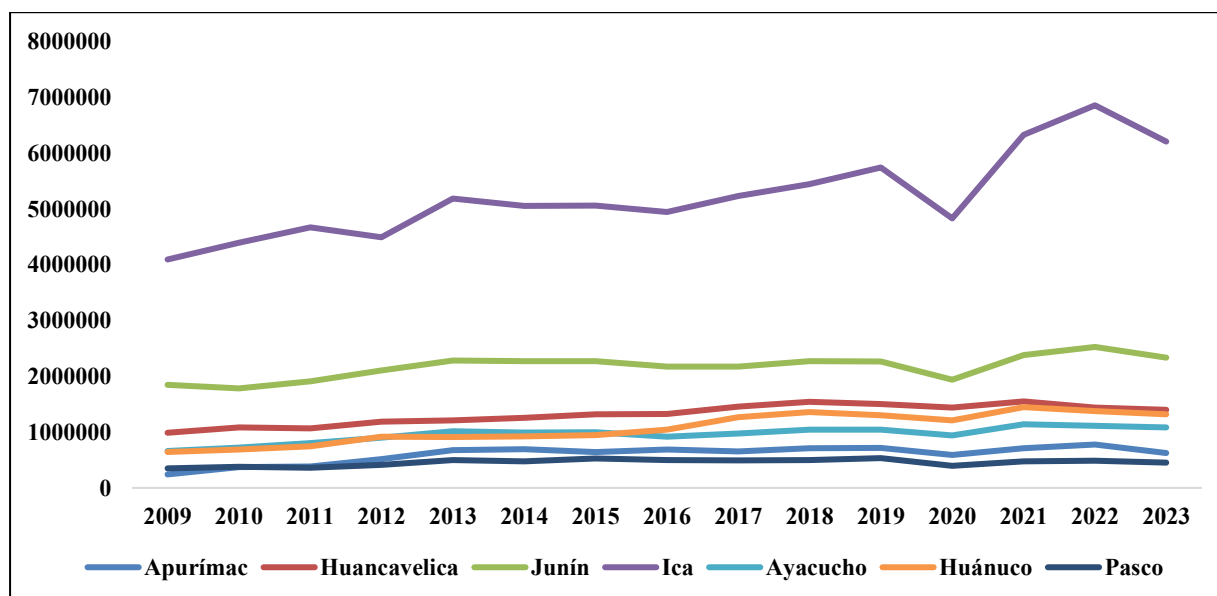
Por otro lado, en la Figura 16 se reconoce la tendencia fluctuante del PBI pc secundario que involucra los sectores de construcción y manufactura de la macro región centro, en ese sentido, en el periodo analizado prevalece una tcapa de 6.61% en Apurímac, de 5.15% en Huánuco, de 4.18% en Huancavelica, de 2.13% en Pasco, de 3.10% en Ayacucho, de 1.05% en

Junín y de 0.623% en Ica. En base a ello, el PBI pc en el sector secundario conservó una tpea de 3.46% en la macro región centro.

Asimismo, en todo el periodo analizado el mejor comportamiento de la economía regional se visualiza en Ica con un PBI del sector secundario superior frente a las otras regiones, especialmente en el 2022 donde se registró un valor de 6 723 soles por persona, todo ello, debido al importante desenvolvimiento que ha experimentado el sector manufactura, ya que, es el que mayor aporte genera al PBI regional con una participación promedio de 21.1% de la producción regional. En tanto, Apurímac registró el menor valor per cápita en el 2009 con 560 soles por persona, eso debido a que en ese periodo dicha región prevaleció una infraestructura ineficiente y mano de obra poco calificada.

Figura 16

Comportamiento del PBI secundario en los departamentos de la Macro Región Centro, 2009 – 2023 (miles de soles por persona)



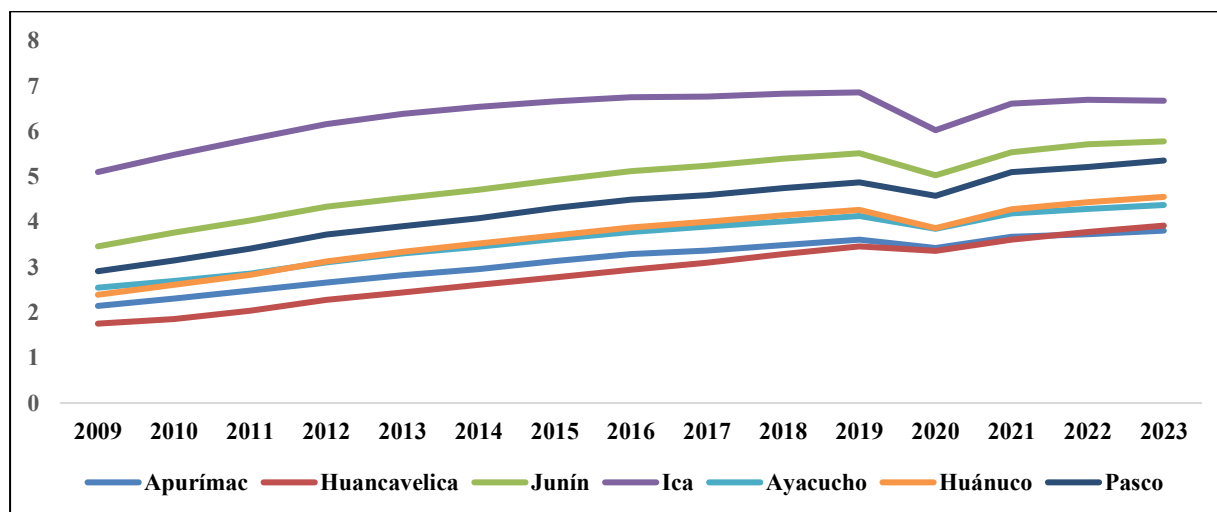
Nota. INEI (2024)

Adicionalmente, en la Figura 17 se reconoce la tendencia fluctuante del PBI per cápita terciario que involucra los sectores de comercio y servicios de la macro región centro, en ese sentido, en el periodo analizado prevalece una tpa de 5.50% en Huancavelica, de 4.38% en Huánuco, de 4.14% en Pasco, de 3.89% en Apurímac, de 3.66% en Ayacucho, de 3.47% en Junín y de 1.80% en Ica. En base a ello, el PBI pc en el sector terciario conservó una tpa de 3.84% en la macro región centro.

Asimismo, durante todo el período analizado, el mejor desempeño del sector terciario se observa en Ica, que mantiene un PBI per cápita superior al resto de departamentos de la macrorregión, alcanzando en 2023 un valor de 6 674 soles. Este resultado se encuentra asociado al dinamismo del comercio exterior, los servicios logísticos vinculados a la agroexportación, las actividades financieras, el transporte y el turismo. Por otro lado, Huancavelica registró el menor desempeño promedio del período 2009–2023, con un valor per cápita de 2 880 soles por habitante. Esta situación se explica por la menor diversificación de las actividades terciarias, el predominio de servicios básicos orientados al mercado local, una reducida capacidad de consumo de la población y una menor demanda de servicios turísticos, financieros y comerciales. En promedio, el sector servicios representó el 15.6% del PBI regional y el comercio el 4.3%, evidenciando una estructura económica con limitada capacidad para generar actividades terciarias de mayor valor agregado.

Figura 17

Comportamiento del PBI terciario en los departamentos de la Macro Región Centro, 2009 – 2023 (miles de soles por persona)



Nota. INEI (2024)

d) Comportamiento de la degradación ambiental de la macro región centro del Perú, 2009 – 2023

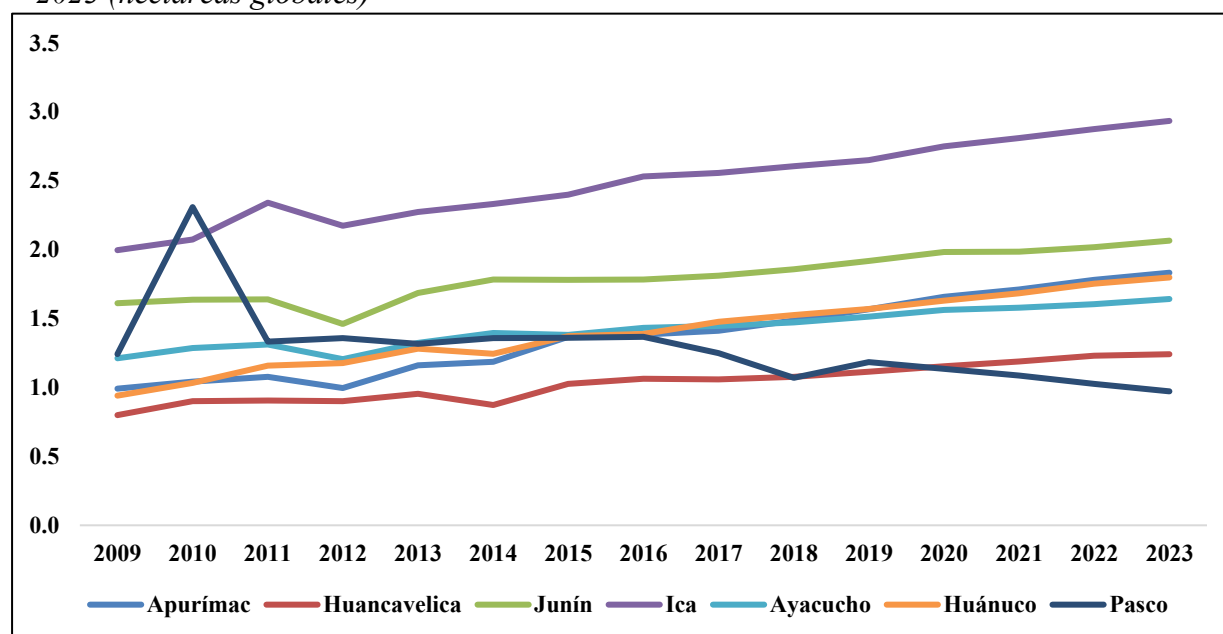
En la Figura 18, se observa una tendencia hacia el alza de la huella ecológica con una tcapa de 2.32% en la macro región centro durante el periodo analizado; aunado, prevalece una tcapa en la degradación ambiental de 4.41% en Huánuco, de 4.18% en Apurímac, de 2.98% en Huancavelica, de 2.6% en Ica, de 2.04% en Ayacucho, de 1.67% en Junín y de -1.63% en Pasco.

Asimismo, en todo el periodo analizado la mayor degradación ambiental se evidencia en la región de Ica frente a las otras regiones, especialmente en el 2023 donde registró un valor de 2.93 hectáreas globales por persona para sostener el estilo de vida, todo ello, debido al uso intensivo del recurso hídrico y la alta explotación de la tierra por la agroindustria. En tanto, Pasco registró una subida sustancial de su huella ecológica en el 2010 con 2.309 hectáreas

globales por persona, como consecuencia de la explotación minera metálica, principalmente de plata, plomo y zinc.

Figura 18

Comportamiento de la huella ecológica de los departamentos de la Macro Región Centro, 2009 – 2023 (hectáreas globales)



Nota. Ministerio del Ambiente (2024)

3.2. Resultados a nivel inferencial

Se planteó la siguiente ecuación que sintetiza la problemática central y sirve como punto de partida para el tratamiento empírico de los datos:

$$\text{Log}(HE)_{rit} = \alpha_{it} + \beta_1 * \text{Log}(PBIpc)_{1it} + \mu_{it}$$

Entre tanto, y, con el propósito de captar posibles relaciones no lineales entre las variables, resulta necesario ampliar la especificación inicial incorporando un término cuadrático del PBI pc, esta extensión permitió evaluar si la elasticidad de la huella ecológica varía según el nivel del PBI, y además posibilita identificar la existencia de puntos de inflexión (efecto en forma de U o U invertida, tal como se muestra a continuación:

$$\text{Log}(HE)_{rit} = \alpha_{it} + \beta_1 * \text{Log}(PBI)_{1it} + \beta_2 * [\text{Log}(PBI)_{1it}]^2 + \mu_{it}$$

Adicionalmente, se incorporaron al modelo variables de control como los años promedio de educación de la población mayor de 15 años, el consumo de electricidad, la población total, la tasa de urbanización y el número de municipalidades con políticas ambientales implementadas. Estas variables buscan fortalecer la robustez de los resultados al controlar factores socioeconómicos y estructurales relevantes, quedando el modelo econométrico final especificado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Log}(HE)_{rit} = & \alpha_{it} + \beta_1 * \text{Log}(PBI)_{1it} + \beta_2 * [\text{Log}(PBI)_{1it}]^2 + \beta_3 * AEDUC_{1it} \\ & + \beta_4 * \text{Log}(ELEC)_{1it} + \beta_5 * TURB_{1it} + \beta_6 * \text{Log}(POB)_{1it} + \beta_7 * MPAMB \\ & + \mu_{it} + ei \end{aligned}$$

Mencionado lo anterior, a continuación, se presenta la estadística descriptiva de las variables del modelo, seguida de la contrastación de la hipótesis general y las hipótesis específicas:

3.2.1. Estadística Descriptiva

En este apartado se procedió a evaluar las características básicas de las variables del panel mediante estadística descriptiva numérica y visual, cuyos detalles completos se presentan en el Anexo 3.

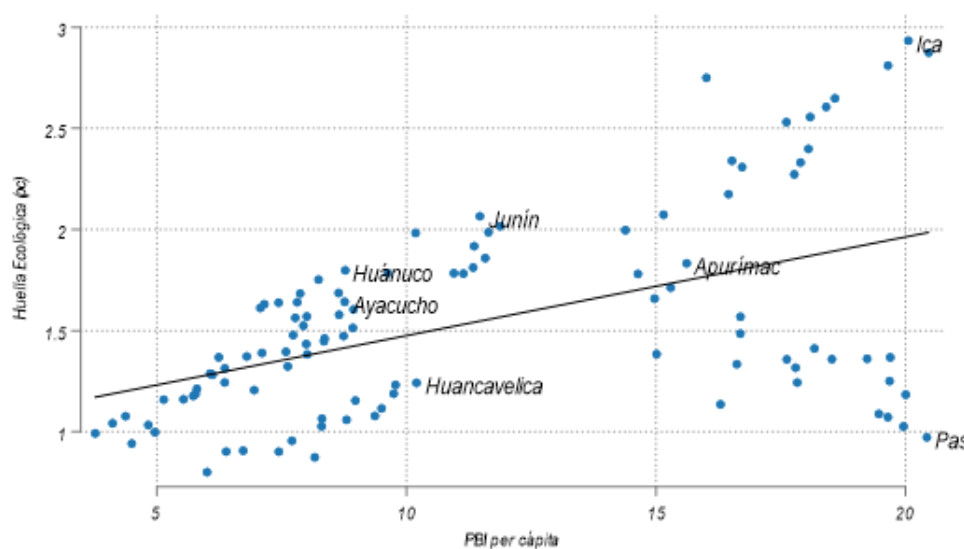
La Tabla 1 resume las medias, desviaciones estándar totales, en general, los resultados evidencian una considerable heterogeneidad entre las regiones. La huella ecológica registra un promedio de 1.55, con valores que oscilan entre 0.80 y 2.93, lo que refleja diferentes niveles de presión ambiental entre los territorios analizados. En cuanto a las variables económicas, el PBI per cápita y el consumo de electricidad muestran desviaciones estándar relativamente altas, lo que indica una importante dispersión y sugiere desigualdades en el nivel de actividad económica entre regiones. Por otro lado, los años promedio de educación presentan una menor variabilidad, lo que sugiere una distribución más homogénea del capital humano. En contraste, variables como la población, el grado de urbanización y el número de municipalidades con políticas ambientales muestran diferencias más marcadas entre regiones. En conjunto, estos resultados descriptivos evidencian la diversidad económica, demográfica y ambiental existente entre las regiones consideradas en el análisis.

Tabla 1*Estadísticos descriptivos de las variables de estudio*

Variable	N° obs	Media	Desviación Estándar	Min	Max
he	105	1.55	0.49	0.8	2.93
pbipc	105	11.44	5.09	3.77	20.46
pbippc	105	4.91	4.05	0.93	13.68
pbispc	105	2.42	1.63	0.56	6.722
pbitpc	105	4.11	1.28	1.75	6.85
aeduc	105	9.51	0.79	8.1	11.2
elec	105	888.28	912.4	82.7	4027.9
mpamb	105	11.22	5.76	1	25
pob	105	672818.2	335239	267425	1377838
turb	105	0.55	0.21	0.2	0.93

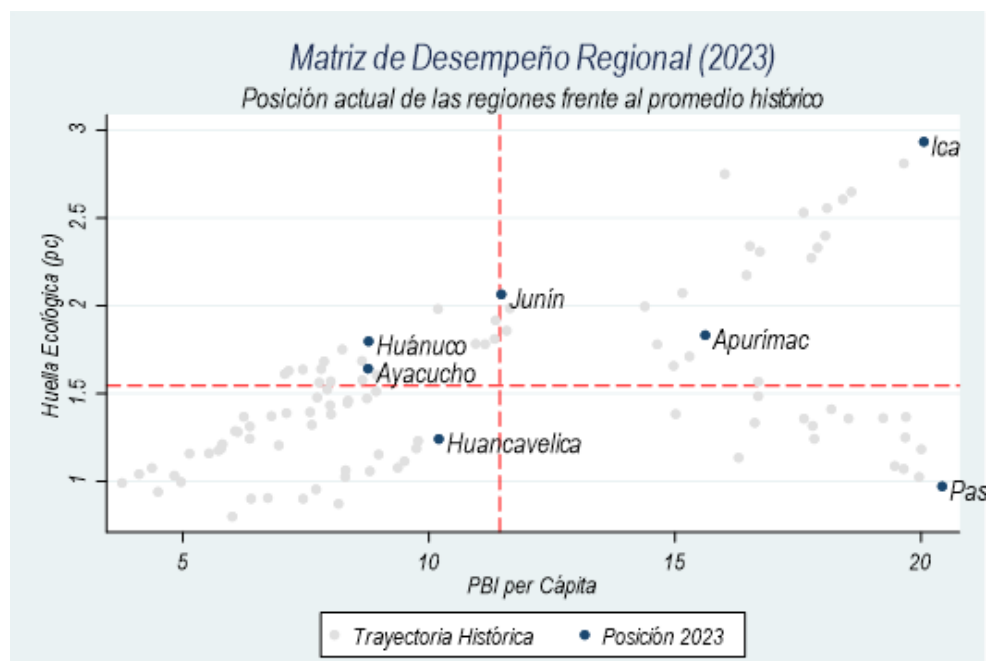
Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación

Asimismo, la siguiente figura complementa el análisis al mostrar la relación entre PBI per cápita y huella ecológica durante 2009-2023, donde las etiquetas de cada región indican específicamente su posición en 2023. Se observa que los puntos delinean una U invertida, validando visualmente la curva de Kuznets; sin embargo, Ica se posiciona en la esquina superior derecha, sobresaliendo de la tendencia con elevado PBI per cápita, pero huella ecológica persistente, lo que sugiere dinámicas regionales particulares que serán abordadas en el modelo econométrico.

Figura 19*Relación PBI per cápita y Huella Ecológica por Región*

Nota. Resultados extraídos del programa Stata. La etiqueta corresponde al último año observado (2023)

Por otro lado, en la siguiente figura se muestra la matriz de desempeño ambiental-económico construida para el año 2023, la cual posiciona a las siete regiones peruanas analizadas según su Producto Bruto Interno per cápita (PBI pc) en el eje horizontal y la huella ecológica per cápita (he) en el eje vertical. Las líneas divisorias horizontales y verticales, trazadas en los promedios históricos de ambas variables, permiten identificar las regiones ubicadas por encima o debajo del promedio nacional en cada dimensión. Los puntos grises representan la trayectoria histórica completa de cada región, mientras que los puntos azules con etiquetas corresponden a su posición específica en 2023, facilitando la identificación de patrones de convergencia o divergencia respecto al desempeño promedio, tal como se muestra a continuación:

Figura 20*Matriz de Desempeño Regional*

Nota. Resultados extraídos del programa Stata. La etiqueta corresponde al último año observado (2023)

De acuerdo a lo observado en la figura anterior, se puede identificar que, Ica supera el promedio de huella ecológica pese a su alto PBI per cápita, resultado de su agroexportación intensiva (espárragos, uvas) que genera alta huella hídrica por sobreexplotación de acuíferos y agroquímicos masivos. Por su parte, Pasco, con similar PBI per cápita, se sitúa por debajo del promedio de huella gracias a minería concentrada que impacta áreas focalizadas con menor consumo hídrico relativo y mejor cumplimiento regulatorio ambiental.

La región de Ayacucho representa uno de los críticos escenarios al situarse ligeramente por encima del promedio histórico de huella ecológica con PBI per cápita por debajo del promedio nacional. Esta combinación de baja capacidad económica y presión ambiental desproporcionada se debe a su agricultura de subsistencia ineficiente y ganadería extensiva que degrada suelos.

3.2.2. *Estimación y Selección del Modelo*

Para este apartado, se llevaron a cabo las pruebas de multicolinealidad (VIF) y raíz unitaria (estacionariedad), seleccionándose el modelo de efectos fijos tras los tests correspondientes, como se muestra a detalle en el Anexo 4.

La prueba de Hausman arroja un estadístico chi-cuadrado negativo ($\chi^2 = -144.81$), lo que indica que no se cumplen los supuestos asintóticos del test. Este resultado implica que la diferencia entre las matrices de covarianza no es definida positiva, señalando que el modelo de efectos aleatorios es inconsistente para la estructura de los datos.

Tabla 2

Resultados de la prueba de Hausman para la selección del modelo de datos de panel

Estadístico	Valor
Hipotesis Nula (H₀)	No existen diferencias sistemáticas entre los coeficientes de efectos fijos y efectos aleatorios.
χ^2	-144.81
Grados de libertad	7
Resultado	La prueba no es válida debido a que $\chi^2 < 0$

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación.

Compara los coeficientes de Efectos Fijos vs Efectos Aleatorios.

H₀: La diferencia en los coeficientes no es sistemática (Usar Efectos Aleatorios).

H₁: La diferencia es sistemática (Usar Efectos Fijos).

La prueba de Hausman arroja un estadístico chi-cuadrado negativo ($\chi^2 = -144.81$), lo que indica que no se cumplen los supuestos asintóticos del test. Este resultado implica que la diferencia entre las matrices de covarianza no es definida positiva, señalando que el modelo de efectos aleatorios es inconsistente para la estructura de los datos.

En consecuencia, se opta por el modelo de efectos fijos (FE), ya que el Test F confirma la existencia de diferencias significativas entre regiones (Prob > F = 0.0000) y se evidencia una alta heterogeneidad individual ($\rho = 0.9643$). Por tanto, el modelo de efectos fijos es el más adecuado para la estimación final.

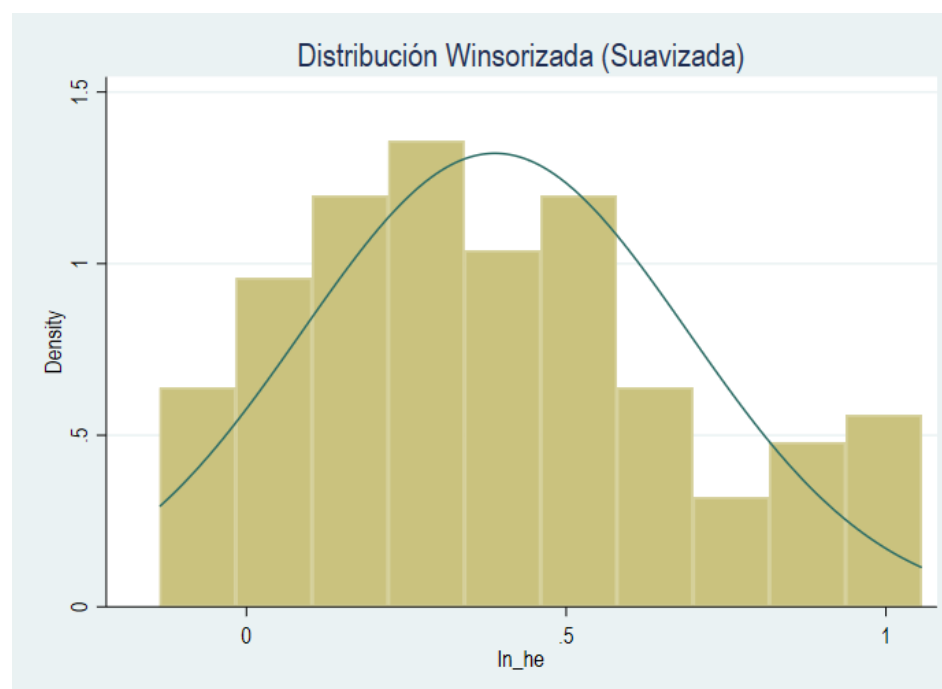
Estimando el modelo con efectos fijos, para controlar la heterogeneidad no observada de cada región, procediendo a la prueba de normalidad de los residuos.

Posteriormente, con este modelo definido, se realizaron las pruebas diagnósticas de heteroscedasticidad, autocorrelación. Finalmente, se obtuvo la estimación robusta Driscoll-Kraay con variables winsorizadas y la selección del rezago óptimo mediante criterios AIC/BIC, el cual a mayor detalle del paso a paso se presentan en el **Anexo 4**.

Con el objetivo de mejorar la robustez del modelo y reducir la influencia de valores extremos, se aplicó un proceso de winsorización a las variables numéricas (al 1% y 99%). Este procedimiento permite limitar el efecto de outliers sin eliminar observaciones, favoreciendo una distribución más estable y adecuada para la estimación econométrica.

Figura 21

Distribución Winsorizada



Nota. Resultados extraídos del programa Stata.

El histograma de la variable dependiente transformada ($\ln_he$) muestra una distribución más suavizada y relativamente simétrica tras la winsorización. Se observa una concentración

importante de datos en el rango central y una reducción de valores extremos en los extremos de la distribución.

La curva de densidad sugiere una aproximación más cercana a la normalidad en comparación con la distribución original, lo que contribuye a mejorar el cumplimiento de los supuestos del modelo. En conjunto, la winsorización permitió atenuar la influencia de observaciones atípicas y fortalecer la consistencia de las estimaciones del modelo de efectos fijos robusto.

Estimación Final Robusta (Driskoll-Kraay con variables Winsorizadas)

Con el fin de obtener estimaciones más sólidas, se estimó el modelo de efectos fijos incorporando errores estándar robustos de Driscoll–Kraay y utilizando las variables previamente winsorizadas. Este enfoque permite corregir posibles problemas de no normalidad (parcialmente atenuada con la winsorización), heterocedasticidad, autocorrelación y dependencia transversal entre regiones. Además, se especificó un rezago máximo de orden 1 ($\text{lag}(1)$), considerado prudente dado el tamaño del panel ($N=105$ observaciones, aproximadamente 4–5 años por región).

Tabla 3

Estimación del modelo mediante el estimador de Driscoll-Kraay con variables winsorizadas

Variable	β	EE	t	p	IC 95 %
ln(PBI per cápita)	2.338	0.537	4.36	0.001	[1.187, 3.490]
ln(PBI per cápita) ²	-0.425	0.108	-3.95	0.001	[-0.656, -0.194]
Años promedio de educación	0.099	0.027	3.65	0.003	[0.041, 0.157]
ln(Electricidad)	-0.143	0.057	-2.53	0.024	[-0.264, -0.022]
Tasa de urbanización	0.694	0.296	2.35	0.034	[0.060, 1.328]
ln(Población)	1.155	0.206	5.61	< .001	[0.714, 1.597]
Municipalidades con política Ambiental	0.001	0.002	0.5	0.622	[-0.004, 0.006]
Constante	-18.481	2.85	-6.48	< .001	[-24.593, -12.368]

Nota. Modelo de efectos fijos estimado con errores estándar robustos de Driscoll-Kraay (rezago = 1). n = 105 observaciones; 7 regiones. $F(7, 14) = 41.61$, $p < .001$. R^2 dentro (within) = .71

El modelo es globalmente significativo ($\text{Prob} > F = 0.0000$) y explica el 71% de la variación intra-regional de la huella ecológica (within $R^2 = 0.7115$). El PBI per cápita tiene un efecto positivo y significativo, mientras que su término cuadrático es negativo y significativo, lo que confirma una relación no lineal consistente con la Curva Ambiental de Kuznets. Asimismo, la educación, la urbanización y la población incrementan significativamente la huella ecológica. En contraste, el consumo de electricidad muestra un efecto negativo significativo, y la variable *mpamb_w* no resulta estadísticamente significativa. En síntesis, el crecimiento económico y los factores estructurales influyen de manera importante en la presión ambiental regional.

Por otro lado, siguiendo el principio de parsimonia, se elige el modelo con 1 rezago (L1), por ello se procede a estimar el modelo final dinámico, con rezagos y corrección Driscoll-Kraay:

Tabla 4*Estimación del modelo parsimonioso*

Variable	β	EE	t	p	IC 95 %
ln(PBI per cápita)	2.389	0.56	4.26	0.001	[1.179, 3.600]
ln(PBI per cápita) ²	-0.451	0.123	-3.65	0.003	[-0.718, -0.184]
Rezago de ln(PBI per cápita)	0.14	0.103	1.35	0.199	[-0.083, 0.363]
Años promedio de educación	0.076	0.041	1.82	0.091	[-0.014, 0.165]
ln(Electricidad)	-0.16	0.074	-2.17	0.049	[-0.319, -0.001]
Tasa de urbanización	0.486	0.41	1.19	0.257	[-0.399, 1.371]
ln(Población)	1.149	0.225	5.1	< .001	[0.662, 1.635]
Municipalidades con política Ambiental	-0.0003	0.0026	-0.12	0.909	[-0.0058, 0.0052]
Constante	-18.228	2.935	-6.21	< .001	[-24.568, -11.887]

Nota. Modelo de efectos fijos estimado con errores estándar robustos de Driscoll-Kraay (rezago = 1). n = 98 observaciones; 7 regiones. $F(8, 13) = 22.36$, $p < .001$. R^2 dentro (within) = .68

Control de choque externo (Dummy pandemia 2020)

Para ello, se generó la variable binaria, la cual toma valor 1 si es el año 2020, y 0 para cualquier otro año, y se procedió con la estimación:

Tabla 5

Estimación del modelo con la incorporación de la variable dicotómica de la pandemia de COVID-19 (2020)

Variable	β	EE	t	p	IC 95 %
ln(PBI per cápita)	2.417	0.549	4.4	0.001	[1.231, 3.603]
ln(PBI per cápita) ²	-0.467	0.121	-3.87	0.002	[-0.728, -0.206]
Rezago de ln(PBI per cápita)	0.165	0.122	1.35	0.199	[-0.098, 0.428]
Años promedio de educación	0.079	0.038	2.1	0.056	[-0.002, 0.160]
ln(Electricidad)	-0.153	0.071	-2.15	0.051	[-0.306, 0.001]
Tasa de urbanización	0.528	0.397	1.33	0.206	[-0.329, 1.385]
ln(Población)	1.156	0.227	5.08	< .001	[0.665, 1.648]
Municipalidades con política Ambiental	-0.0003	0.0024	-0.14	0.892	[-0.0056, 0.0049]
Variable dummy COVID-19	-0.031	0.025	-1.21	0.249	[-0.086, 0.024]
Constante	-18.454	3.007	-6.14	< .001	[-24.951, -11.957]

Nota. Modelo de efectos fijos estimado con errores estándar robustos de Driscoll-Kraay (rezago máximo = 2). n = 98 observaciones; 7 grupos. F(9, 13) = 106.31, p < .001. R² dentro (within) = .682.

Se excluye la dummy relacionada a la COVID-19 y la primera diferencia, debido a que no son estadísticamente significativos. Asimismo, las otras variables de control como aeduc y elec, debido a que no presentan signos coherentes. De igual modo, se retiran las restantes variables de control no significativas, conservando únicamente la siguiente el siguiente modelo econométrico:

$$\begin{aligned}
 \text{Log}(HE)_{rit} = & \alpha_{it} + \beta_1 * \text{Log}(PBI)_{1it} + \beta_2 * [\text{Log}(PBI)_{1it}]^2 + \beta_3 * \text{Log}(POB)_{1it} \\
 & + \beta_4 * TURB_{1it} + \mu_{it} + ei
 \end{aligned}$$

3.2.3. *Contrastación de la Hipótesis General:*

Considerando las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H_0):

El crecimiento económico no influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macrorregión centro del Perú durante el período 2009–2023, bajo el enfoque de la Curva de Kuznets Ambiental.

Hipótesis alternativa (H_1):

El crecimiento económico influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macrorregión centro del Perú durante el período 2009–2023, bajo el enfoque de la Curva de Kuznets Ambiental.

El modelo econométrico a estimar incorpora la variable de control población y tasa de urbanización, debido a que su inclusión en la especificación econométrica resulta estadísticamente significativa y mejora la capacidad explicativa del modelo. En ese sentido, considerando su relevancia teórica y empírica en el análisis de la degradación ambiental, el modelo final se plantea de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Log}(HE)_{it} = & \alpha_{it} + \beta_1 * \text{Log}(PBI)_{1it} + \beta_2 * [\text{Log}(PBI)_{1it}]^2 + \beta_3 * \text{Log}(POB)_{1it} \\ & + \beta_4 * TURB_{1it} + \mu_{it} + ei \end{aligned}$$

De este modo, el modelo permite evaluar con mayor precisión la validez de la relación planteada por la Curva de Kuznets Ambiental, diferenciando el efecto del ingreso del efecto asociado al tamaño poblacional y la tasa de urbanización. Al realizar la estimación, se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 6*Resultados de la estimación del modelo para la contrastación de la hipótesis general*

Variable	B	EE	t	p	IC 95%
ln_pbipc_w	2.036	0.389	5.23	< .001	[1.201, 2.871]
ln_pbipc2_w	-0.416	0.093	-4.49	0.001	[-0.616, -0.217]
turb_w	1.404	0.244	5.75	< .001	[0.880, 1.928]
ln_pob_w	0.763	0.115	6.62	< .001	[0.516, 1.010]
Constante	-12.937	1.827	-7.08	< .001	[-16.856, -9.019]

Nota. Modelo de efectos fijos estimado con errores estándar robustos de Driscoll-Kraay.

Variable dependiente: ln_he_w. Número de observaciones = 105. Número de grupos = 7. R

2 dentro de los grupos = .664.

La Tabla 6 presenta los resultados de la estimación del modelo utilizando efectos fijos con errores estándar robustos de Driscoll–Kraay. Los resultados muestran que el modelo es globalmente significativo ($\text{Prob} > F = 0.0000$) y presenta un within R^2 de 0.6637, lo que indica que aproximadamente el 66 % de la variación intra-regional de la huella ecológica es explicada por las variables incluidas en el modelo. En particular, el coeficiente del logaritmo del PBI per cápita (ln_pbipc_w) es positivo y estadísticamente significativo ($\beta = 2.0362$; $p < 0.01$), lo que indica que, en las primeras etapas del crecimiento económico, un incremento del 1 % en el PBI per cápita se asocia con un aumento aproximado de 2.04 % en la huella ecológica, manteniendo constantes las demás variables del modelo. Asimismo, el coeficiente del término cuadrático del logaritmo del PBI per cápita (ln_pbipc2_w) es negativo y significativo ($\beta = -0.4165$; $p < 0.01$), lo que evidencia una relación no lineal entre crecimiento económico y degradación ambiental. Este resultado es consistente con la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets, sugiriendo que, a partir de cierto nivel de ingreso, mayores incrementos del PBI per cápita podrían asociarse con una reducción de la presión ambiental. Por otro lado, la variable población (ln_pob_w) presenta un coeficiente positivo y altamente significativo ($\beta = 0.7633$; $p < 0.01$), lo que indica que un

aumento del 1 % en la población incrementa la huella ecológica en aproximadamente 0.76 %, ceteris paribus. Finalmente, el grado de urbanización (*turb_w*) también muestra un efecto positivo y significativo ($\beta = 1.4041$; $p < 0.01$), lo que sugiere que mayores niveles de urbanización se asocian con un incremento en la presión ambiental. Este resultado es consistente con la teoría económica y ambiental, dado que una mayor presión demográfica tiende a intensificar el uso de recursos naturales y la generación de impactos ambientales.

A partir de estos resultados, se determinó el punto de inflexión a partir de la primera derivada de la función estimada respecto al PBI per cápita:

$$\text{Log}(HE)_{rit} = \beta_0 + \beta_1 * \text{Log}(PBIpc)_{1it} + \beta_2 * [\text{Log}(PBIpc)_{1it}]^2 + \mu_{it} + ei$$

Se deriva respecto a Log (PBIpc):

$$\frac{\partial HE_{pc}}{\partial PBI_{pc}} = \beta_1 + 2\beta_2 PBIpc$$

$$\text{Log}(PBIpc) * = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$$

Por tanto, considerando la esquematización del modelo econométrico y lo estimado, este queda adaptado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Log}(HE)_{rit} = & -12.94 + 2.04 * \text{Log}(PBIpc)_{1it} - 0.42 * [\text{Log}(PBIpc)_{1it}]^2 + 0.76 * \\ & \text{Log}(POB) + 1.40 * TURB_{1it} + \mu_{it} + ei \end{aligned}$$

Sustituyendo los coeficientes estimados en el modelo:

$$PBIpc * = -\frac{2.04}{2(-0.42)} = 2.444401$$

Debido a que la variable se encuentra expresada en logaritmos naturales, es necesario aplicar la función exponencial para obtener el valor en términos monetarios:

$$PBI_{pc} * = e^{2.444401}$$

$$PBI_{pc} * = 11.523645$$

Por tanto, el punto de inflexión se ubica en S/ 11.5 mil de PBI per cápita. Asimismo, con la finalidad de validar y contrastar los resultados obtenidos mediante el cálculo manual, se realizó la estimación del punto de inflexión utilizando el software Stata a través del comando *nlcom*, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7

Cálculo del punto de inflexión correspondiente a la hipótesis general

Parámetro	Estimación	EE	z	p	IC 95%
Punto de inflexión (escala logarítmica)	2.444	0.081	30.16	< .001	[2.286, 2.603]

Nota. El punto de inflexión se calculó mediante $-\beta_1/(2\beta_2)$, donde β_1 corresponde al coeficiente de $\ln_pbipc_w$ y β_2 al coeficiente de $\ln_pbipc2_w$. Al transformar el resultado a su escala original mediante la función exponencial, el punto de inflexión corresponde aproximadamente a 11.52 miles de soles de PBI per cápita.

De acuerdo con la tabla anterior, el valor estimado de S/ 11.5 mil representa el umbral a partir del cual cambia la relación entre el crecimiento económico y la huella ecológica. Antes de alcanzar dicho nivel de ingreso, los incrementos del PBI per cápita están asociados con mayores niveles de degradación ambiental, debido a la expansión de la actividad económica y al uso más intensivo de los recursos naturales. Sin embargo, una vez superado este umbral, el crecimiento económico comienza a relacionarse con una reducción de la huella ecológica, lo que puede

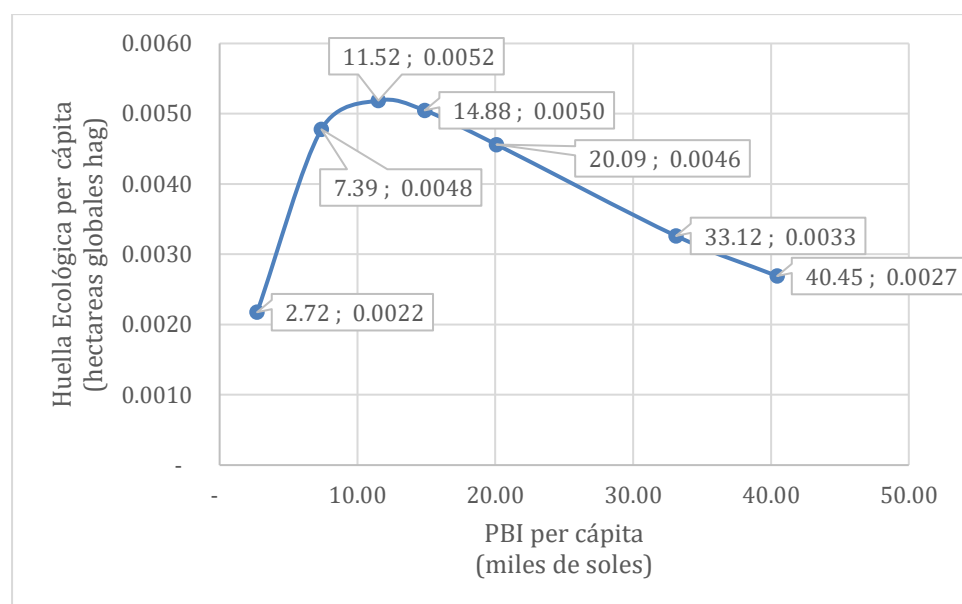
explicarse por una mayor adopción de tecnologías limpias, mejoras en la eficiencia productiva y una mayor preocupación por la protección ambiental.

En consecuencia, los resultados evidencian una relación en forma de U invertida entre el crecimiento económico y la huella ecológica, confirmando el cumplimiento de la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental para la macroregión centro del Perú.

Al representar gráficamente los coeficientes beta estimados, se obtiene la siguiente figura, que muestra de forma clara una curva de Kuznets con el punto de inflexión previamente identificado.

Figura 22

Curva de Kuznets para el objetivo general



Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación.

En este sentido, los resultados indican que el PBI per cápita y la huella ecológica presentan una relación directa en la etapa inicial, es decir, ambos aumentan de manera conjunta

hasta que el PBI per cápita alcanza aproximadamente 11.52 miles de soles y la huella ecológica llega a 0.0052 hectáreas per cápita (52 m²). A partir de este punto, se observa que incrementos adicionales en el PBI per cápita se asocian con una disminución de la huella ecológica, lo que evidencia una reducción de la degradación ambiental y confirma la presencia de una Curva de Kuznets Ambiental en forma de U invertida.

En conclusión, se rechaza la hipótesis nula; es decir, el crecimiento económico influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macrorregión centro del Perú durante el período 2009–2023, bajo el enfoque de la Curva de Kuznets Ambiental.

Las regiones con mayor diversificación económica y participación en sectores de servicios o con políticas ambientales más consolidadas, como Ica y Junín, explican principalmente la fase descendente de la curva. Por su parte, regiones con economías más dependientes de actividades extractivas, como Huancavelica, Apurímac y Pasco, refuerzan la pendiente ascendente inicial de la relación, lo que da como resultado una media regional representada por una curva en forma de U invertida.

3.2.4. Contrastación de la hipótesis específica 1:

Considerando las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H_0):

El crecimiento económico del sector primario no influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macrorregión centro del Perú durante el período 2009–2023, bajo el enfoque de la Curva de Kuznets Ambiental.

Hipótesis alternativa (H_1):

El crecimiento económico del sector primario influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macrorregión centro del Perú durante el período 2009–2023, bajo el enfoque de la Curva de Kuznets Ambiental.

El modelo econométrico es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Log}(HE)_{rit} = & \alpha_{it} + \beta_1 * \text{Log}(PBIP)_{1it} + \beta_2 * [\text{Log}(PBIP)_{1it}]^2 + \beta_3 * \text{Log}(POB)_{1it} \\ & + \beta_4 * \text{TURB}_{1it} + \mu_{it} + ei \end{aligned}$$

Realizamos la estimación del modelo, obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 8

Resultados de la estimación del modelo para la contrastación de la hipótesis específica 1

Variable	B	EE	t	p	IC 95%
ln_pbippc_w	0.352	0.145	2.43	0.029	[0.041, 0.663]
ln_pbippc2_w	-0.103	0.057	-1.81	0.092	[-0.226, 0.019]
turb_w	2.018	0.29	6.97	< .001	[1.397, 2.640]
ln_pob_w	0.405	0.05	8.12	< .001	[0.298, 0.512]
Constante	-6.337	0.741	-8.56	< .001	[-7.926, -4.749]

Nota. Variable dependiente: ln_he_w. Modelo de efectos fijos estimado con errores estándar robustos de Driscoll-Kraay. Número de observaciones = 105; número de grupos = 7; R2 dentro de los grupos = .604; F(4, 14) = 48.27, p < .001.

La Tabla 8 presenta los resultados de la estimación del modelo de efectos fijos con errores estándar robustos de Driscoll–Kraay para la hipótesis específica 1. Los resultados muestran que el modelo es globalmente significativo ($\text{Prob} > F = 0.0000$) y presenta un within R^2 de 0.6035, lo que indica que aproximadamente el 60 % de la variación intra-regional de la huella ecológica es explicada por las variables incluidas en el modelo.

En particular, el coeficiente del logaritmo del PBI per cápita del sector primario ($\ln_pbippc_w$) es positivo y estadísticamente significativo ($\beta_1 = 0.3523$; $p = 0.029$), lo que indica que un incremento del 1 % en el PBI per cápita del sector primario se asocia con un aumento aproximado de 0.35 % en la huella ecológica, manteniendo constantes las demás variables del modelo. Este resultado evidencia una relación directa entre el crecimiento del sector primario y la presión ambiental.

Asimismo, el término cuadrático del PBI per cápita del sector primario ($\ln_pbippc2_w$) presenta un coeficiente negativo ($\beta_2 = -0.1033$) y significancia marginal ($p = 0.092$), lo que sugiere una relación no lineal entre el crecimiento del sector primario y la degradación ambiental, parcialmente consistente con la Curva Ambiental de Kuznets, donde el impacto ambiental tendería a disminuir a mayores niveles de ingreso.

Por otro lado, las variables de control grado de urbanización ($turb_w$) y población ($\ln_pob_w$) presentan coeficientes positivos y estadísticamente significativos ($p < 0.01$), lo que indica que mayores niveles de urbanización y crecimiento poblacional incrementan la huella ecológica, reflejando una mayor presión sobre los recursos naturales.

A partir de estos resultados, se determinó el punto de inflexión a partir de la primera derivada de la función estimada respecto al PBI per cápita:

$$\text{Log}(HE)_{it} = \beta_0 + \beta_1 * \text{Log}(PBIpc)_{it} + \beta_2 * [\text{Log}(PBIpc)_{it}]^2 + \mu_{it} + ei$$

Se deriva respecto a Log (PBIpc):

$$\frac{\partial HE_{pc}}{\partial PBI_{pc}} = \beta_1 + 2\beta_2 PBIpc$$

$$\text{Log}(PBIpc) * = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$$

Por tanto, considerando la especificación del modelo econométrico y los resultados obtenidos, el modelo final queda expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Log}(HE_{it}) = & -3.34 + 0.35 * \text{Log}(PBI_{it}) - 0.10 * (\text{Log}(PBI_{it}))^2 + 0.40 \\ & * \text{Log}(POB_{it}) + 2.09 * TURB_{it} \mu_{it} + ei \end{aligned}$$

Sustituyendo los coeficientes estimados en el modelo:

$$PBIpc * = -\frac{0.35}{2(-0.10)} = 1.704702$$

Debido a que la variable se encuentra expresada en logaritmos naturales, es necesario aplicar la función exponencial para obtener el valor en términos monetarios:

$$PBIpc * = e^{1.704702}$$

$$PBIpc * = 5.4997465$$

Por tanto, el punto de inflexión se ubica en S/ 5.4 mil de PBI per cápita. Asimismo, con la finalidad de validar y contrastar los resultados obtenidos mediante el cálculo manual, se realizó la estimación del punto de inflexión utilizando el software Stata a través del comando *nlcom*, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 9

Cálculo del punto de inflexión correspondiente a la hipótesis específica 1

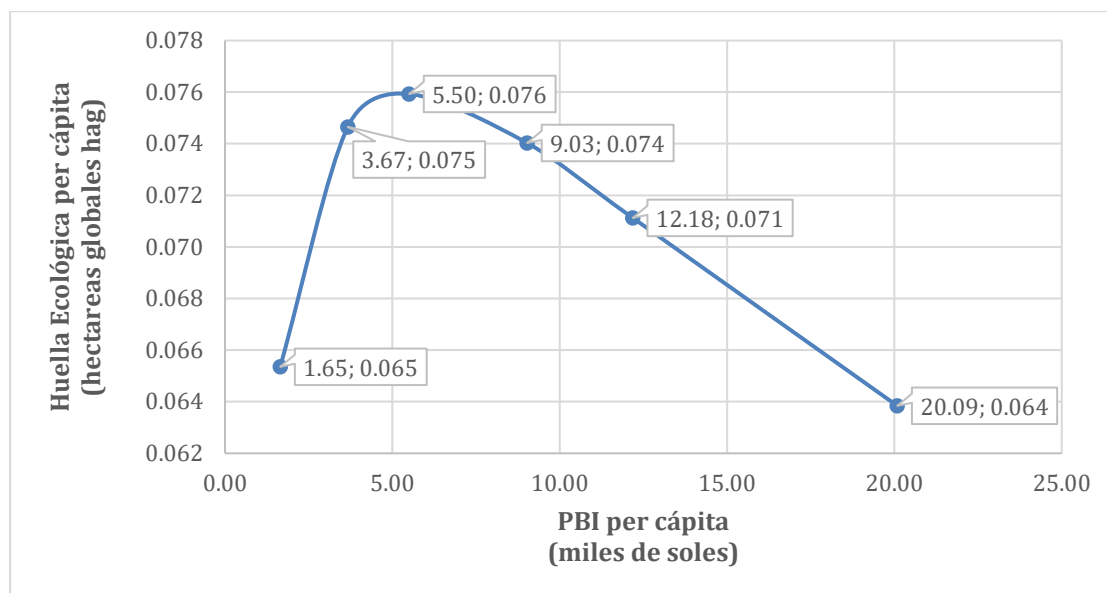
Parámetro	Estimación	EE	z	p	IC 95%
Punto de inflexión (escala logarítmica)	1.704702	0.2439	6.99	< .001	[1.227, 2.183]

Nota. El punto de inflexión se calculó mediante $-\beta_1/(2\beta_2)$, donde β_1 corresponde al coeficiente de $\ln_pbipc_w$ y β_2 al coeficiente de $\ln_pbipc2_w$. Al transformar el resultado a su escala original mediante la función exponencial, el punto de inflexión corresponde aproximadamente a 5.49 miles de soles de PBI per cápita.

De acuerdo con la tabla anterior, el valor estimado de S/ 5.5 mil representa el umbral a partir del cual cambia la relación entre el crecimiento económico y la huella ecológica. Antes de alcanzar dicho nivel de ingreso, los incrementos del PBI per cápita están asociados con mayores niveles de degradación ambiental, debido a la expansión de la actividad económica y al uso más intensivo de los recursos naturales. Sin embargo, una vez superado este umbral, el crecimiento económico comienza a relacionarse con una reducción de la huella ecológica, lo que puede explicarse por una mayor adopción de tecnologías limpias, mejoras en la eficiencia productiva y una mayor preocupación por la protección ambiental.

En consecuencia, los resultados evidencian una relación en forma de U invertida entre el crecimiento económico y la huella ecológica, confirmando el cumplimiento de la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental para la macroregión centro del Perú.

Al representar gráficamente los coeficientes beta estimados, se obtiene la siguiente figura, que muestra de forma clara una curva de Kuznets con el punto de inflexión previamente identificado.

Figura 23*Curva de Kuznets para el objetivo específico 1*

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación.

En este sentido, los resultados indican que el PBI per cápita y la huella ecológica presentan una relación directa en la etapa inicial, es decir, ambos aumentan de manera conjunta hasta que el PBI per cápita alcanza aproximadamente 5.50 miles de soles y la huella ecológica llega a 0.076 hectáreas per cápita. A partir de este punto, se observa que incrementos adicionales en el PBI per cápita se asocian con una disminución de la huella ecológica, lo que evidencia una reducción de la degradación ambiental y confirma la presencia de una Curva de Kuznets Ambiental en forma de U invertida.

En conclusión, se rechaza la hipótesis nula; es decir, el crecimiento económico en el sector primario influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macrorregión centro del Perú durante el período 2009–2023, bajo el enfoque de la Curva de Kuznets Ambiental.

En la fase inicial del crecimiento, las actividades agrícolas, ganaderas y mineras intensifican el uso de recursos naturales y aumentan la presión ambiental, especialmente en regiones como Huancavelica, Apurímac y Pasco. Sin embargo, conforme estas economías alcanzan mayores niveles de ingreso, la degradación marginal tiende a disminuir, como se observa en regiones como Ica y Junín, donde se incorporan tecnologías más eficientes y prácticas de producción menos contaminantes. En conjunto, el sector primario, al ser el de mayor peso económico regional, explica buena parte de la forma curvilínea observada en el modelo general.

3.2.5. Contrastación de la Hipótesis Específica 2:

Considerando las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H_0):

El crecimiento económico del sector secundario no influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macrorregión centro del Perú durante el período 2009–2023, bajo el enfoque de la Curva de Kuznets Ambiental.

Hipótesis alternativa (H_1):

El crecimiento económico del sector secundario influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macrorregión centro del Perú durante el período 2009–2023, bajo el enfoque de la Curva de Kuznets Ambiental.

El modelo econométrico es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Log}(HE)_{rit} = & \alpha_{it} + \beta_1 * \text{Log}(PBIS)_{1it} + \beta_2 * [\text{Log}(PBIS)_{1it}]^2 + \beta_3 * \text{Log}(POB)_{1it} \\ & + \beta_4 * \text{TURB}_{1it} + \mu_{it} + ei \end{aligned}$$

Realizamos la estimación del modelo, obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 10

Resultados de la estimación del modelo para la contrastación de la hipótesis específica 2

Variable	B	EE	t	p	IC 95%
ln_pbispc_w	0.186	0.1	1.86	0.084	[-0.028, 0.399]
ln_pbispc2_w	0.004	0.032	0.11	0.915	[-0.066, 0.073]
turb_w	2.033	0.468	4.34	< .001	[1.029, 3.037]
ln_pob_w	0.67	0.055	12.27	< .001	[0.553, 0.787]
Constante	-9.785	0.694	-14.1	< .001	[-11.273, -8.297]

Nota. Modelo de efectos fijos con errores estándar robustos de Driscoll–Kraay. Variable dependiente: ln_he_w. N = 105 observaciones; 7 grupos (id_region); $F(4, 14) = 117.89$, $p < .001$; R^2 dentro de los grupos = .550.

La Tabla 10 presenta los resultados de la estimación del modelo de efectos fijos con errores estándar robustos de Driscoll–Kraay para la hipótesis específica 2. Los resultados muestran que el modelo es globalmente significativo ($\text{Prob} > F = 0.0000$) y presenta un within R^2 de 0.5503, lo que indica que aproximadamente el 55 % de la variación intra-regional de la huella ecológica es explicada por las variables incluidas en el modelo. En el cuadro se observa que el PBI per cápita del sector secundario ($\ln_pbispc_w$) presenta un coeficiente positivo ($\beta_1 = 0.1855$) y una significancia marginal ($p = 0.084$), lo que sugiere que el crecimiento de este sector tiende a incrementar la huella ecológica. En términos interpretativos, un aumento del 1 % en el PBI per cápita del sector secundario se asocia con un incremento aproximado de 0.19 % en la huella ecológica, manteniendo constantes las demás variables del modelo.

Por otro lado, el término cuadrático del PBI per cápita del sector secundario ($\ln_pbispc2_w$) no resulta estadísticamente significativo ($p = 0.915$), a pesar de presentar un coeficiente cercano a cero, lo que indica que no se evidencia una relación no lineal entre el crecimiento del sector secundario y la degradación ambiental. En consecuencia, no se confirma la Curva Ambiental de Kuznets para este sector, predominando una relación principalmente lineal. Asimismo, las variables de control grado de urbanización ($turb_w$) y población ($\ln_pob_w$) presentan coeficientes positivos y estadísticamente significativos ($p < 0.01$), lo que indica que mayores niveles de urbanización y crecimiento poblacional incrementan la presión ambiental, reflejada en una mayor huella ecológica.

Debido a que el coeficiente del término cuadrático no es significativo, se realizó nuevamente una estimación sin considerar dicha variable, teniendo el modelo siguiente:

$$\text{Log}(HE)_{rit} = \alpha_{it} + \beta_1 * \text{Log}(PBIS)_{1it} + \beta_2 * \text{Log}(POB)_{1it} + \beta_3 * TURB_{1it} + \mu_{it} + ei$$

Tabla 11

Estimación mediante efectos aleatorios para la hipótesis específica 2 sin el término cuadrático del PBI

Variable	B	EE	<i>t</i>	<i>p</i>	IC 95%
ln_pbispc_w	0.188	0.085	2.2	0.045	[0.005, 0.371]
turb_w	2.035	0.479	4.25	0.001	[1.008, 3.063]
ln_pob_w	0.666	0.062	10.77	< .001	[0.533, 0.799]
Constante	-9.731	0.719	-13.53	< .001	[-11.274, -8.189]

Nota. Modelo de efectos fijos con errores estándar robustos de Driscoll–Kraay. Variable dependiente: ln_he_w. N = 105 observaciones; 7 grupos (id_region); $F(3, 14) = 154.66$, $p < .001$; R^2 dentro de los grupos = .550.

La Tabla 11 presenta la estimación del modelo para la hipótesis específica 2 sin incluir el término cuadrático del PBI del sector secundario. Los resultados muestran que el modelo es globalmente significativo ($\text{Prob} > F = 0.0000$) y presenta un within R^2 de 0.5503, lo que indica que aproximadamente el 55 % de la variación intra-regional de la huella ecológica es explicada por las variables incluidas en el modelo. En el cuadro se observa que el PBI per cápita del sector secundario (ln_pbispc_w) tiene un coeficiente positivo y estadísticamente significativo ($\beta = 0.1879$; $p = 0.045$), lo que indica que un incremento del 1 % en el PBI per cápita del sector secundario se asocia con un aumento aproximado de 0.19 % en la huella ecológica, manteniendo constantes las demás variables del modelo. Este resultado evidencia que la expansión de las actividades del sector secundario continúa generando presión sobre el medio ambiente.

Asimismo, la población (ln_pob_w) presenta un coeficiente positivo y altamente significativo ($\beta = 0.6661$; $p < 0.01$), lo que implica que un aumento del 1 % en la población incrementa la huella ecológica en aproximadamente 0.67 %, reflejando que el crecimiento demográfico intensifica el uso de recursos naturales. Finalmente, el grado de urbanización (turb_w) también muestra un efecto positivo y significativo ($\beta = 2.0354$; $p = 0.001$), lo que

sugiere que mayores niveles de urbanización están asociados con un incremento de la presión ambiental. En conjunto, la ausencia del término cuadrático del PBI del sector secundario confirma que no se evidencia la Curva Ambiental de Kuznets para este sector, predominando una relación lineal entre crecimiento económico e impacto ambiental.

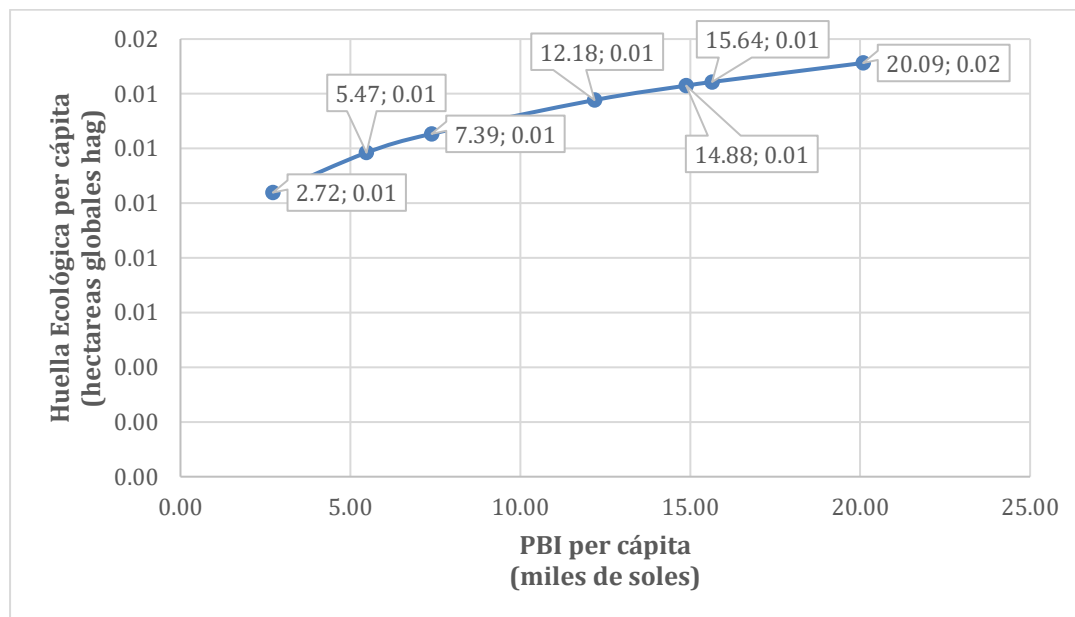
Por tanto, considerando la especificación del modelo econométrico y los resultados estimados, el modelo final se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Log}(HE)_{it} = -9.73 + 0.19 * \text{Log}(PBIS)_{it} + 0.66 * \text{Log}(POB)_{it} + 2.04 * \text{TURB}_{it} + \mu_{it} + e_i$$

Al representar gráficamente los coeficientes beta estimados, se obtiene la siguiente figura, que muestra de forma clara que no se cumple con la curva de Kuznets:

Figura 24

Curva de Kuznets para el objetivo específico 2



Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación.

En este sentido, los resultados obtenidos evidencian que el PBI per cápita y la huella ecológica mantienen una relación directa y estadísticamente significativa; es decir, ambos indicadores tienden a incrementarse de manera conjunta. Esto implica que, en las etapas iniciales del crecimiento económico, un aumento en el nivel de ingreso per cápita se traduce en una mayor presión sobre el medio ambiente, reflejada en el incremento de la huella ecológica. Dicho comportamiento es consistente con la fase ascendente de la Curva de Kuznets Ambiental, donde el crecimiento económico está asociado a una mayor degradación ambiental debido al mayor consumo de recursos naturales, expansión de actividades productivas y un uso intensivo de energía y materias primas.

En conclusión, no se rechaza la hipótesis nula; es decir, el crecimiento económico en el sector primario no influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macrorregión centro del Perú durante el período 2009–2023, bajo el enfoque de la Curva de Kuznets Ambiental.

Este comportamiento se explica por la limitada diversificación y modernización del sector industrial regional, concentrado principalmente en actividades extractivas y de transformación básica, como las existentes en Junín y Pasco, y con escasa representatividad en el resto de regiones. Debido a su baja participación en el PBI total, el comportamiento lineal del sector secundario no altera la curvatura del modelo general.

3.2.6. *Contrastación de la Hipótesis Específica 3:*

Considerando las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H_0):

El crecimiento económico del sector terciario no influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macrorregión centro del Perú durante el período 2009–2023, bajo el enfoque de la Curva de Kuznets Ambiental.

Hipótesis alternativa (H_1):

El crecimiento económico del sector terciario influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macrorregión centro del Perú durante el período 2009–2023, bajo el enfoque de la Curva de Kuznets Ambiental.

El modelo econométrico es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Log}(HE)_{rit} = & \alpha_{it} + \beta_1 * \text{Log}(PBIT)_{1it} + \beta_2 * [\text{Log}(PBIT)_{1it}]^2 + \beta_3 * \text{Log}(POB)_{1it} \\ & + \beta_4 * TURB_{1it} + \mu_{it} + ei \end{aligned}$$

Realizamos la estimación del modelo, obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 12*Resultados de la estimación del modelo para la contrastación de la hipótesis específica 3*

Variable	B	EE	t	p	IC 95%
ln_pbitpc_w	2.034	0.179	11.33	< .001	[1.649, 2.419]
ln_pbitpc2_w	-0.777	0.1	-7.76	< .001	[-0.991, -0.562]
turb_w	2.157	0.654	3.3	0.005	[0.755, 3.559]
ln_pob_w	1.311	0.219	5.98	< .001	[0.840, 1.781]
Constante	-19.489	2.986	-6.53	< .001	[-25.893, -13.084]

Nota. Modelo de efectos fijos con errores estándar robustos de Driscoll–Kraay. Variable dependiente: ln_he_w. N = 105 observaciones; 7 grupos (id_region); $F(4, 14) = 78.68$, $p < .001$; R^2 dentro de los grupos = .632

La Tabla 12 presenta los resultados de la estimación del modelo de efectos fijos con errores estándar robustos de Driscoll–Kraay para la hipótesis específica 3. Los resultados indican que el modelo es globalmente significativo ($\text{Prob} > F = 0.0000$) y presenta un within R^2 de 0.6320, lo que significa que aproximadamente el 63.2 % de la variación intra-regional de la huella ecológica es explicada por las variables incluidas en el modelo. En particular, el PBI per cápita del sector terciario (ln_pbitpc_w) presenta un coeficiente positivo y estadísticamente significativo ($\beta = 2.0342$; $p = 0.000$), lo que indica que el crecimiento de este sector contribuye a incrementar la degradación ambiental. En términos interpretativos, un aumento del 1 % en el PBI per cápita del sector terciario se asocia con un incremento aproximado de 2.03 % en la huella ecológica, manteniendo constantes las demás variables. Por otro lado, el término cuadrático (ln_pbitpc2_w) presenta un coeficiente negativo y significativo ($\beta = -0.7766$; $p = 0.000$), lo que evidencia una relación no lineal entre el crecimiento del sector terciario y la degradación ambiental, consistente con la Curva Ambiental de Kuznets. Asimismo, las variables de control grado de urbanización (turb_w) y población (ln_pob_w) presentan coeficientes positivos y significativos ($p < 0.01$), indicando que mayores niveles de urbanización y crecimiento

poblacional incrementan la presión sobre el medio ambiente. En conjunto, los resultados confirman la hipótesis específica 3, evidenciando que el crecimiento económico del sector terciario tiene una influencia positiva y significativa sobre la degradación ambiental en la macrorregión centro del Perú.

A partir de estos resultados, se determinó el punto de inflexión a partir de la primera derivada de la función estimada respecto al PBI per cápita:

$$\text{Log}(HE)_{rit} = \beta_0 + \beta_1 * \text{Log}(PBIpc)_{1it} + \beta_2 * [\text{Log}(PBIpc)_{1it}]^2 + \mu_{it} + ei$$

Se deriva respecto a Log (PBIpc):

$$\frac{\partial HE_{pc}}{\partial PBI_{pc}} = \beta_1 + 2\beta_2 PBIpc$$

$$\text{Log}(PBIpc) * = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$$

Por tanto, considerando la especificación del modelo econométrico y los resultados obtenidos, el modelo final queda expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Log}(HE_{it}) = & -19.48 + 2.03 * \text{Log}(PBIT_{it}) - 0.78 * (\text{Log}(PBIT_{it}))^2 + 1.31 \\ & * \text{Log}(POB_{it}) + 2.16 * TURB_{1it} + \mu_{it} + ei \end{aligned}$$

Sustituyendo los coeficientes estimados en el modelo:

$$PBIpc * = -\frac{2.03}{2(-0.78)} = 1.309694$$

Debido a que la variable se encuentra expresada en logaritmos naturales, es necesario aplicar la función exponencial para obtener el valor en términos monetarios:

$$PBIpc * = e^{1.309694}$$

$$PBIpc *= 3.7050398$$

Por tanto, el punto de inflexión se ubica en S/ 3.7 mil de PBI per cápita. Asimismo, con la finalidad de validar y contrastar los resultados obtenidos mediante el cálculo manual, se realizó la estimación del punto de inflexión utilizando el software Stata a través del comando *nlcom*, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 13

Cálculo del punto de inflexión correspondiente a la hipótesis específica 3

Parámetro	Estimación	EE	z	p	IC 95%
Punto de inflexión (escala logarítmica)	1.309695	0.947181	13.83	< .001	[1.124, 2.495]

Nota. El punto de inflexión se calculó mediante $-\beta_1/(2\beta_2)$, donde β_1 corresponde al coeficiente de $\ln_pbipc_w$ y β_2 al coeficiente de $\ln_pbipc2_w$. Al transformar el resultado a su escala original mediante la función exponencial, el punto de inflexión corresponde aproximadamente a 3.70 miles de soles de PBI per cápita.

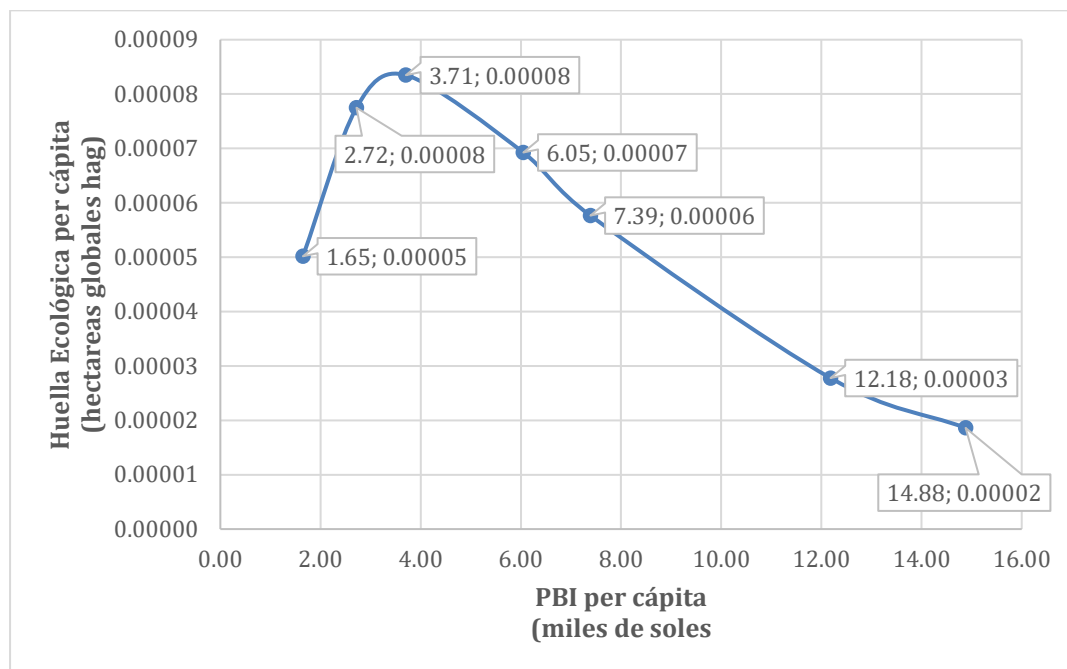
De acuerdo con la tabla anterior, el valor estimado de S/ 3.7 mil representa el umbral a partir del cual cambia la relación entre el crecimiento económico y la huella ecológica. Antes de alcanzar dicho nivel de ingreso, los incrementos del PBI per cápita están asociados con mayores niveles de degradación ambiental, debido a la expansión de la actividad económica y al uso más intensivo de los recursos naturales. Sin embargo, una vez superado este umbral, el crecimiento económico comienza a relacionarse con una reducción de la huella ecológica, lo que puede explicarse por una mayor adopción de tecnologías limpias, mejoras en la eficiencia productiva y una mayor preocupación por la protección ambiental.

En consecuencia, los resultados evidencian una relación en forma de U invertida entre el crecimiento económico y la huella ecológica, confirmando el cumplimiento de la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental para la macroregión centro del Perú.

Al representar gráficamente los coeficientes beta estimados, se obtiene la siguiente figura, que muestra de forma clara una curva de Kuznets con el punto de inflexión previamente identificado.

Figura 25

Curva de Kuznets para el objetivo específico 3



Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación.

En este sentido, los resultados indican que el PBI per cápita y la huella ecológica presentan una relación directa en la etapa inicial, es decir, ambos aumentan de manera conjunta hasta que el PBI per cápita alcanza aproximadamente 3.71 miles de soles y la huella ecológica llega a 0.000008 hectáreas globales per cápita. A partir de este punto, se observa que incrementos adicionales en el PBI per cápita se asocian con una disminución de la huella ecológica, lo que evidencia una reducción de la degradación ambiental y confirma la presencia de una Curva de Kuznets Ambiental en forma de U invertida.

En conclusión, se rechaza la hipótesis nula; es decir, el crecimiento económico en el sector terciario influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macrorregión centro del Perú durante el período 2009–2023, bajo el enfoque de la Curva de Kuznets Ambiental.

En etapas iniciales del desarrollo, el incremento de las actividades comerciales, transportes y de servicios genera una mayor presión ambiental; sin embargo, al alcanzar niveles más altos de ingreso, la eficiencia económica y la adopción de mejores prácticas reducen progresivamente dicho impacto. Regiones como Ica y Junín, con economías más orientadas hacia el comercio, los servicios y la educación, impulsan la fase descendente de esta curva, mientras que Ayacucho, Huánuco y Apurímac muestran una transición gradual hacia modelos más sostenibles. En conjunto, el sector terciario refuerza el carácter curvilíneo del modelo general y contribuye, junto con el primario, a explicar el cumplimiento de la Curva de Kuznets Ambiental en el promedio regional.

I. DISCUSIÓN

En respuesta al objetivo general del estudio, se determina que, hay una influencia directa y significativa del crecimiento económico hacia la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, 2009 – 2023; específicamente, se identifica que por cada incremento del 1% en el PBI regional, la degradación ambiental aumenta en un 2.04%, medido por la huella ecológica. Asimismo, al expresar el PBI pc en términos cuadráticos, sigue siendo estadísticamente significativa, pero con coeficiente negativo (-0.416), lo que significa que a mayores niveles de PBI per cápita la influencia marginal sobre la huella ecológica disminuye, por lo tanto, se cumple la curva de Kuznets ambiental, ya que, inicialmente al incrementar el PBI, la huella ecológica también se incrementa, pero a partir de cierto punto, un mayor PBI lleva a una reducción de la Huella ecológica.

Dicho hallazgo presentó concordancia con lo establecido por Godínez et al. (2021), especialmente para el caso del PBI lineal, ya que, exhibieron la presencia de una influencia directa del crecimiento económico sobre la degradación ambiental, esto quiere decir que, por cada aumento del 1% del PBI pc, la degradación ambiental incrementa significativamente.

Sin embargo, existió discrepancia con el trabajo investigativo de Martinez (2020), el cual propuso que la repercusión del crecimiento económico sobre huella ecológica sigue una curva en U, lo que significa que, el PBI cuadrático tiene coeficiente positivo, significando que no se cumple la CKA. En la misma línea, no hubo concordancia con lo determinado por Tocalema (2022), el cual colocó en evidencia que, existe una influencia negativo y muy bajo ($r = -0.007$) del PBI lineal sobre huella ecológica en Ecuador, sugiriendo que el crecimiento económico no ha

tenido una repercusión significativa sobre la huella ecológica en ese país, e incluso se concluye que, nunca se superó la biocapacidad, es decir, se mantuvo un superávit ecológico.

Por otro lado, los resultados tienen un fuerte vínculo con la CKA propuesta por Kuznets (1955). Según la CKA, hay una conexión en forma de “U invertida” entre el ingreso per cápita y la degradación ambiental: inicialmente, a medida que crece el ingreso, también lo hace la degradación ambiental, pero a partir de cierto nivel de ingresos, el impacto ambiental comienza a disminuir.

Sin embargo, la relación identificada en el estudio podría reflejar una fase transitoria entre la segunda y tercera etapa de la CKA. En la segunda etapa, según Grossman y Krueger (1991), la transformación de la estructuración productiva hacia sectores más especializados y de alta competitividad puede generar impactos ambientales según las tecnologías y regulaciones vigentes; además, la tercera etapa de la CKA, que involucra un cambio hacia industrias más sostenibles y un mayor enfoque en la mejora de la calidad ambiental, aún parece lejana para la región, lo que sugiere que el país podría estar en una fase de transición, donde los beneficios marginales de la mejora de la calidad ambiental aún no superan los costos asociados con el crecimiento económico acelerado (Correa, 2007; Selden y Song, 1994).

En relación con el OE1, se precisa que, el crecimiento del sector primario tiene una influencia directa y estadísticamente significativa sobre la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, 2009 – 2023. En términos cuantitativos, se estima que un acrecentamiento del 1% en la actividad económica de este sector conlleva un incremento aproximado del 0.35% en los niveles de deterioro ambiental en dicha región. Además, al expresar el PBI en términos cuadráticos, sigue siendo una variable significativa al 95% y con

coeficiente negativo (-0.103) lo cual ratifica que para el caso de PBI primario también se cumple la curva de Kuznets ambiental.

Además, en relación con el OE3, se precisa que, el crecimiento del sector terciario tiene una influencia directa y estadísticamente significativa sobre la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, 2009 – 2023. En términos cuantitativos, se estima que un acrecentamiento del 1% en la actividad económica de este sector conlleva un incremento aproximado del 2.03% en los niveles de deterioro ambiental en dicha región. Además, al expresar el PBI en términos cuadráticos, sigue siendo una variable significativa al 95% y con coeficiente negativo (-0.77) lo cual ratifica que para el caso de PBI primario también se cumple la curva de Kuznets ambiental.

Este hallazgo es coincidente con el estudio de Azorín (2021), el cual determinó que, hay un efecto lineal, monótono y creciente entre el PBI pc sobre las emisiones de CO₂ en India; asimismo, existe una concordancia con los resultados obtenidos por Fabian y Fernández (2022), quienes concluyeron que, el crecimiento de la economía tiene una repercusión directamente proporcional sobre las emisiones de CO₂; en términos cuantitativos, estimaron que un aumento del 1% en el crecimiento de la economía genera un aumento lineal del 1.01% en las emisiones contaminantes.

Además, se identificó una concordancia parcial con la investigación de Acheampong y Osei (2023), quienes establecieron la presencia de una repercusión en forma de U invertida del crecimiento económico sobre degradación ambiental, lo que implica que, en una primera fase, el crecimiento intensifica el daño ambiental, pero en etapas posteriores lo reduce, es decir, se cumple a cabalidad la CKA.

En atención al OE2, se establece que el crecimiento económico del sector secundario influye de forma directa y significativa en el deterioro ambiental de la macroregión centro del Perú durante el periodo 2009–2023. Específicamente, un aumento del 1 % en la actividad económica de este sector genera un incremento aproximado del 0.19 % en la degradación ambiental. No obstante, al expresar el PBI en términos cuadráticos, esta variable deja de ser estadísticamente significativa al 5 %, y presenta un coeficiente positivo (0.003). Esto indica que no se cumple la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) para el sector secundario, lo cual evidencia la necesidad de implementar medidas sostenibles en los procesos industriales y manufactureros que predominan en esta zona del país.

A partir de ello, se evidencia una concordancia con lo reportado por Quinde et al. (2021), quienes identificaron un efecto empírico significativo del crecimiento económico, medido por el PBI pc, sobre los niveles de emisiones de CO₂ en los países del G – 8, lo que refuerza la idea de que un crecimiento sostenido, particularmente en sectores industriales, contribuye al deterioro ambiental, tal como se observa en el presente análisis centrado en el sector secundario. A la vez, también se observa concordancia con el estudio nacional de Durand y Koc (2021), quienes determinaron que, el incremento del ingreso pc tiene un efecto estadísticamente significativo en el aumento de la contaminación ambiental, incluso, sus hallazgos descartaron la hipótesis de la CKA para el Perú, lo que sugiere que, en países en desarrollo como el nuestro, el crecimiento industrial no necesariamente conlleva mejoras ambientales a largo plazo.

Por otro lado, se reconoce una concordancia parcial con los hallazgos de Navarro et al. (2023), los cuales concluyeron que, hay una repercusión del PBI sobre las emisiones de CO₂, no obstante, su análisis se basó en un contexto regional compuesto por países desarrollados, cuya

dinámica económica y políticas ambientales difieren sustancialmente de las de la macroregión centro del Perú.

Asimismo, se identifica una concordancia con los hallazgos de Olascoaga (2020), quien en su análisis sobre el Perú (2000 – 2017) concluyó que un acrecentamiento del PBI pc genera un aumento sustancial en las emisiones de CO₂, alcanzando aproximadamente un 93.82% por cada 1% de crecimiento económico. Además, se establece una concordancia parcial con la investigación de Jara (2023), quien determinó que el crecimiento del PBI pc nacional conllevó un incremento de la huella ecológica de los peruanos entre 2003 y 2016; aunque su análisis se realizó a nivel agregado y no por sectores, se evidencia que la expansión económica en su conjunto guarda una conexión directa con el aumento de la presión sobre el ambiente.

Finalmente, se observa una concordancia temática con matices respecto al estudio de Cariño (2023), el cual encontró que ciertas variables vinculadas al desarrollo económico regional, como la producción eléctrica y el número de vehículos, afectan significativamente las emisiones de CO₂, estas variables están fuertemente asociadas a actividades del sector terciario, como el transporte, comercio y servicios urbanos; sin embargo, el autor concluye que la concentración de ingresos tiene una repercusión indirecta sobre la calidad ambiental.

II. CONCLUSIONES

Primero, y, como contestación al objetivo general, se concluye que, el crecimiento económico influye de manera significativa y directa en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, esto quiere decir que, un aumento del 1% de la economía regional generaría un incremento del 2.04% en la degradación ambiental en las regiones del centro peruano, además, al expresar el PBI pc en términos cuadráticos, sigue siendo estadísticamente significativo, pero con coeficiente negativo (-0.416), lo que significa que a mayores niveles de PBI per cápita la influencia marginal sobre la huella ecológica disminuye, por lo tanto, se cumple la curva de Kuznets ambiental.

Segundo, y, como contestación al objetivo específico uno, se concluye que, el crecimiento económico del sector primario influye de manera significativa y directa en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, esto quiere decir que, ante un incremento del 1% en la economía del sector primario, la degradación ambiental en la macroregión centro se acrecentará en aproximadamente 0.35%. Además, al expresar el PBI en términos cuadráticos, sigue siendo una variable significativa al 95% y con coeficiente negativo (-0.103) lo cual ratifica que para el caso de PBI primario también se cumple la curva de Kuznets ambiental.

Tercero, y, como contestación al objetivo específico dos, se concluye que, el crecimiento económico del sector secundario influye de manera significativa y directa en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, esto quiere decir que, ante un incremento del 1% en la economía del sector secundario, la degradación ambiental en la macroregión centro se acrecentará en aproximadamente 0.19%, no obstante, al expresar el PBI

en términos cuadráticos, se vuelve una variable no significativa con un nivel de significancia de 5%, a pesar de presentar un coeficiente cercano a cero (0.003); es decir, no se cumple la curva de Kuznets ambiental.

Cuarto, y, como contestación al objetivo específico tres, se concluye que, el crecimiento económico del sector primario influye de manera significativa y directa en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, esto quiere decir que, ante un incremento del 1% en la economía del sector primario, la degradación ambiental en la macroregión centro se acrecentará en aproximadamente 2.03%. Además, al expresar el PBI en términos cuadráticos, sigue siendo una variable significativa al 95% y con coeficiente negativo (-0.77) lo cual ratifica que para el caso de PBI primario también se cumple la curva de Kuznets ambiental.

El hecho de que el modelo general cumpla con la Curva de Kuznets Ambiental (CKA), mientras que el sector secundario no lo hace, se explica principalmente por la estructura productiva de la macroregión centro del Perú, donde predominan los sectores primario y terciario. Estos sectores muestran una relación curvilínea entre el crecimiento económico y la degradación ambiental, lo que les otorga un mayor peso en los resultados agregados. En cambio, el sector secundario, aunque presenta una relación estadísticamente significativa, tiene una participación menor dentro del PBI regional durante el periodo 2009–2023. Por ello, su comportamiento lineal no logra modificar la tendencia general en forma de U invertida que caracteriza a la CKA en el modelo global. En conclusión, el menor peso económico del sector secundario frente a la mayor influencia del primario y del terciario explica que el modelo general mantenga una relación curvilínea promedio entre el crecimiento económico y la degradación ambiental en la macroregión centro.

III. RECOMENDACIONES

Primero, y, en base a los hallazgos obtenidos, se recomienda a los gobiernos regionales de la macroregión centro del Perú incorporar criterios de sostenibilidad ambiental en sus planes y estrategias de desarrollo económico, considerando que el crecimiento económico regional incrementó significativamente la huella ecológica durante el periodo analizado. Asimismo, se sugiere promover inversiones en tecnologías limpias y fortalecer los mecanismos de monitoreo ambiental para compatibilizar el crecimiento económico con la conservación de los recursos naturales.

Segundo, se recomienda a las Direcciones Regionales Agrarias y a las Gerencias Regionales de Desarrollo Económico fortalecer la promoción de prácticas agrícolas, pecuarias y extractivas sostenibles, mediante programas de asistencia técnica, capacitación y uso eficiente de los recursos naturales, debido a que el crecimiento del sector primario evidenció un incremento en la degradación ambiental de la macroregión centro del Perú.

Tercero, se recomienda a los gobiernos regionales y a las entidades responsables del desarrollo productivo promover mecanismos de producción más limpia en las actividades manufactureras e industriales, incentivando la eficiencia energética, la gestión adecuada de residuos y la adopción de tecnologías sostenibles, dado que el sector secundario mantuvo una relación directa con la degradación ambiental y no presentó evidencia del cumplimiento de la Curva de Kuznets Ambiental.

Cuarto, se recomienda a los gobiernos regionales y municipalidades de la macroregión centro del Perú fortalecer la planificación sostenible de las actividades comerciales, turísticas y de servicios, promoviendo la movilidad sostenible, el turismo responsable y la incorporación de

criterios ambientales en la expansión de la infraestructura de servicios, debido a que el sector terciario presentó el mayor impacto sobre la huella ecológica durante el periodo de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acheampong, A., & Osei, E. (2023). Environmental degradation and economic growth: Investigating linkages and potential pathways. *Energy Economics*, 123(1), 1-19.
doi:10.1016/j.eneco.2023.106734
- Al-mulali, U., Weng, C., Sheau, L., & Hakim, A. (2015). Investigating the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis by utilizing the ecological footprint as an indicator of environmental degradation. *Ecological Indicators*, 48(1), 315-323.
doi:10.1016/j.ecolind.2014.08.029
- Alvarado, J., & Matos, M. (2020). El contrato de suministro en el mercado libre de electricidad: Nociones generales y apuntes para su entendimiento. *Círculo de Derecho Administrativo* .
- Alvarado, R., Tillaguango, B., Dagar, V., Ahmad, M., Işık, C., Méndez, P., & Toledo, E. (2021). Ecological footprint, economic complexity and natural resources rents in Latin America: Empirical evidence using quantile regressions. *Journal of Cleaner Production*, 318(1).
doi:10.1016/j.jclepro.2021.128585
- Antunez, C. (2009). *Crecimiento Económico*. Eumed. From
<https://perhuaman.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/07/crecimiento-econ3b3mico.pdf>
- Arias, J. (2020). *Proyecto de tesis. Guía para la elaboración*. (Primera edición digital ed.). Biblioteca Nacional del Perú. From

https://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/2236/1/AriasGonzales_ProyectoDeTesis_libro.pdf

Arias, J., & Covinos, M. (2021). *Diseño y Metodología de la Investigación*. Enfoques Consulting EIRL.

Armijo, I., Aspillaga, C., Bustos, C., Calderón, A., Cortés, C., Fossa, P., . . . Vivanco, A. (2021). *Manual de metodologá de investigación*. Universidad del Desarrollo. Retrieved from <https://psicologia.udd.cl/files/2021/04/Metodolog%C3%ADa-PsicologiaUDD-2-1.pdf>

Azorín, L. (2021). *Comportamiento de la Curva de Kuznets Ambiental en India*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Zaragoza]. Repositorio Institucional UNIZAR. From <https://zagan.unizar.es/record/100931/files/TAZ-TFG-2021-241.pdf>

Bagliani, M., Bravo, G., & Dalmazzone, S. (2008). A consumption-based approach to environmental Kuznets curves using the ecological footprint indicator. *Ecological Economics*, 65(3), 650-661. doi:10.1016/j.ecolecon.2008.01.010

Başar, S., & Eren, M. (2022). Interregional social development differences and regional social development determinants in Turkey. *GeoJournal*, 87(1), 2209–2225. doi:10.1007/s10708-020-10368-0

Baylon, E., Ayala, E., Pérez, M., Pedraza, E., & Sánchez, L. (2022). La responsabilidad social con el medio ambiente: la degradación ambiental para combatir la corrupción en la región Lima. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 1511-1519. doi:10.37811/cl_rcm.v6i4.2677

- Beltrán, L., Almendarez, C., & Jefferson, D. (2018). El efecto de la innovación en el desarrollo y crecimiento de México: una aproximación usando las patentes. *Problemas del Desarrollo*, 49(195), 55-76. doi:10.22201/iiec.20078951e.2018.195.63191
- Cariño, G. (2023). *Impacto del crecimiento económico sobre la calidad ambiental en los departamentos del Perú*. [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional UPC. From <http://hdl.handle.net/10757/667158>
- Carranco, M. (2023). Nosotros y la naturaleza: un solo ecosistema. *Revista Digital Universitaria*, 23(6), 1-4. doi:10.22201/cuaieed.16076079e.2023.24.1.0
- Carson, R. (1962). *Silent Spring*. Houghton Mifflin. From https://library.uniteddiversity.coop/More_Books_and_Reports/Silent_Spring-Rachel_Carson-1962.pdf
- Cepeda, P., & López, V. (2021). Crecimiento económico: ¿Es posible en dolarización? *RES NON VERBA Revista Científica*, 11(2), 66-83. From <https://revistas.ecotec.edu.ec/index.php/rnv/article/view/527/368>
- Cerezo, V., & Landa, H. (2021). Crecimiento económico y desigualdad en Asia, Europa y América Latina, 1990-2019. *Investigación Económica*, 80(315), 59-80. doi:10.22201/fe.01851667p.2021.315.77565
- Cerquera, O., Clavijo, M., & Vega, C. (2021). Incidencia del crecimiento económico sobre el deterioro ambiental en américa latina. *Aglala*, 12(1), 269-288. From <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8917760>

- Congreso de la República. (2005). *Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente*. Congreso de la República. From https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12772/Ley-N_-28611.pdf?v=1578521542
- Congreso de la República. (2018). *Ley N.° 30884 - Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables*. Congreso de la República. From <https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/1122664-30884>
- Correa, F. (2007). Crecimiento económico, desigualdad social y medio ambiente: Evidencia empírica para América Latina. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 6(10), 12-30. From http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242007000100002
- Costa, E. (2020). Responsabilidad por daño ambiental, análisis comparado Chile-Costa Rica. *Boletín mexicano de derecho comparado*, 51(152), 477-504. doi:10.22201/ijj.24484873e.2018.152.12915
- Dietz, T., & Rosa, E. (1997). Effects of population and affluence on CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Durand, R., & Koc, C. (2021). *Impacto del crecimiento económico en la contaminación ambiental en el Perú: análisis de Kuznets para el periodo 1980-2019*. [Tesis de Pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio Institucional USIL. From <https://hdl.handle.net/20.500.14005/12182>
- Ehrlich, P., & Holdren, J. (1971). Impact of population growth. *Science*.

- Embajada de España. (2023). *Informe económico y comercial de Perú*. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Lima. From <https://www.icex.es/content/dam/es/icex/oficinas/065/documentos/2023/05/anexos/iec-peru-2023.pdf>
- Enríquez, I. (2016). Las teorías del crecimiento económico: notas críticas para incursionar en un debate inconcluso. *Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico*, 25(1), 73-125. From http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2074-47062016000100004
- Estenssoro, F. (2007). Antecedentes para una historia del debate político en torno al medio ambiente: la primera socialización de la idea de crisis ambiental (1945 -1972). *Universum*, 22(2). doi:10.4067/S0718-23762007000200007
- Fabian, P., & Fernández, E. (2022). *Crecimiento económico y su incidencia sobre la contaminación ambiental en el Perú de 1960 a 2020*. [Tesis de Pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. From <https://hdl.handle.net/11537/32907>
- Fernández, J., Purihuaman, C., López, O., & Sánchez, M. (2021). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Colloquium. Retrieved from <https://colloquiumbiblioteca.com/index.php/web/article/view/95>
- Freire, C., Meneses, K., & Cuesta, G. (2021). América Latina: ¿Un paraíso de la contaminación ambiental? *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), 1-18. doi:10.15359/rca.55-2.1

- Gladkova, A., & Ragnedda, M. (2020). Exploring digital inequalities in Russia: an interregional comparative analysis. *Online Information Review*, 44(4), 767-786. doi:10.1108/OIR-04-2019-0121
- Gobierno del Perú. (2025, junio 6). *Política Ambiental Local - PAL*. From <https://www.gob.pe/91770-politica-ambiental-local-pal>
- Godínez, L., Figueroa, E., & Pérez, F. (2021). El medio ambiente, la pobreza y el crecimiento económico en México. *Revista mexicana de economía y finanzas*, 16(2), 1-20. doi:10.21919/remef.v16i2.441
- Granja, F., Mendonça, A., & Nogueira, J. (2002). Poverty and Environmental Degradation: the Kuznets Environmental Curve for the Brazilian Case. *Universidade de Brasília*, 1(267). From <https://www.semanticscholar.org/paper/Poverty-and-Environmental-Degradation%3A-the-Kuznets-Granja-Mendon%3%A7a/2dc910b4616db273ffef41f222c02b2702eed24>
- Grossman, G., & Krueger, A. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. *National Bureau of Economic Research*, 1(3914), 1-57. doi:10.3386/w3914
- Guevara, E. (2008). La venganza de la Tierra. *Comunidad y Salud*, 6(2), 55-65. From <https://www.redalyc.org/pdf/3757/375740243006.pdf>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación*. Mc Graw Hill Education. From <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/1292/1/Hern%3%A1ndez-%20Metodolog%3%ADa%20de%20la%20investigaci%3%B3n.pdf>

INEI. (2018, setiembre 07). *Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. From <https://www.censos2017.pe/inei-difunde-base-de-datos-de-los-censos-nacionales-2017-y-el-perfil-sociodemografico-del-peru/#:~:text=Cerca%20del%2080%2C0%25%20de,vive%20en%20el%20%C3%A1rea%20urbana&text=Entre%20los%20a%C3%B1os%202007%20%E2%80%93202017,a> nual

INEI. (2020). *Metodología de Cálculo del Producto Bruto Interno Anual*. Lima: INEI. From <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/metodologias/pbi02.pdf>

INEI. (2024). *Producto Bruto Interno Por Departamentos*. From Página oficial del INEI: <https://m.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/producto-bruto-interno-por-departamentos-9089/>

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2024). *Producto Bruto Interno Por Departamentos*. From Página oficial del INEI : <https://m.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/producto-bruto-interno-por-departamentos-9089/>

Instituto Peruano de Economía [IPE]. (2013). *Sectores Productivos*. From Instituto Peruano de Economía: <https://www.ipe.org.pe/portal/sectores-productivos/>

Jara, N. (2023). *Crecimiento económico y degradación ambiental en el Perú, un análisis econométrico a nivel regional*. [Tesis de Pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional URP. From <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/5964>

Juan, J. (2021). Impactos ambientales en el campus Colón: Universidad Autónoma del Estado de México. *Producción + Limpia*, 15(2), 109-124. doi:10.22507/pml.v15n2a6

- Katz, J. (2020). *Recursos naturales y crecimiento aspectos macro y microeconómicos, temas regulatorios, derechos ambientales e inclusión social*. Naciones Unidas CEPAL. From https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45513/1/S1901207_es.pdf
- Khan, K., Khan, I., & Rehan, M. (2020). The relationship between energy consumption, economic growth and carbon dioxide emissions in Pakistan. *Financial Innovation*, 6(1). doi:10.1186/s40854-019-0162-0
- Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *The American Economic Review*, 45(1), 1-28. From <https://www.jstor.org/stable/1811581>
- Labarca, N., Márquez, L., & Useche, L. (2021). De la teoría del crecimiento económico exógeno al endógeno: un recorrido analítico y conceptual. *Revista Venezolana De Gerencia*, 26(6), 245-265. doi:10.52080/rvgluz.26.e6.15
- Lara, M., Vásquez, B., & Calderón, C. (2023). Estrategias de crecimiento económico en México y Corea del Sur, un análisis comparativo. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas, Nueva Época*, 18(2), 1-25. doi:10.21919/remef.v18i2.860
- López, J. (2020). Raúl Prebisch y el pensamiento estructuralista latinoamericano. *Problemas del Desarrollo*, 51(202), 3-24. doi:10.22201/iiiec.20078951e.2020.202.69634
- López, J. (2021). La mano invisible de Adam Smith: de la sátira a la transformación social. *Iberian Journal of the History of Economic Thought*, 8(2), 137-152. From <https://eprints.ucm.es/id/eprint/69052/>
- Luque, L. (2021). Análisis de la deforestación de la Amazonia peruana: Madre de Dios. *Revista Innova Educación*, 3(3), 198-212. From

- [https://revistainnovaeducacion.com/index.php/rie/article/download/450/410#:~:text=Con siste%20en%20un%20cambio%20permanente,%25%20\(GreenFacts%2C%202012\).](https://revistainnovaeducacion.com/index.php/rie/article/download/450/410#:~:text=Con siste%20en%20un%20cambio%20permanente,%25%20(GreenFacts%2C%202012).)
- Macas, G., & Macas, G. (2023). Crecimiento económico y su incidencia en el medio ambiente medido por la curva Kuznets. Ecuador, periodo 2010-2020. *Revista disciplinaria en ciencias económicas y sociales*, 5(1), 1-15. doi:10.47666/summa.5.1.7
- Mackenbach, J. (2007). Global environmental change and human health: a public health research agenda. *Journal of Epidemiol Community Health*, 61(2), 92–94. doi:10.1136/jech.2005.045211
- Mancomunidad Regional de los Andes. (2013). *Gob.pe*. From <https://www.gob.pe/institucion/mrdlandes/institucional>
- Mantilla, M., Ruiz, D., & Mantilla, A. (2024). Huella ecológica y zonas bioproductivas. Una mirada desde la economía ecuatoriana. *Revista Ciencia UNEMI*, 17(44), 52 - 64. doi:10.29076/issn.2528-7737vol17iss44.2024pp52-64p
- Márquez, L., Cuétara, L., Cartay, R., & Labarca, N. (2020). Desarrollo y crecimiento económico: Análisis teórico desde un enfoque cuantitativo. *Revista de Ciencias Sociales*, 26(1), 233-253. From <https://www.redalyc.org/journal/280/28063104020/html/>
- Martinez, D. (2020). *Huella Ecológica y Crecimiento Económico: Un análisis con datos de panel para América Latina y la Unión Europea*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Institucional UNL. From <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/23704>

- Meadows, D., Meadows, D., Randers, J., & Behrens, W. (1972). *The Limits to Growth*. Other Potomac Associates Books. From <http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>
- MINAM. (2013). *Glosario de Términos*. From <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/02/2016-05-30-Conceptos-propuesta-Glosario.pdf>
- MINAM. (2024). *Huella ecológica per cápita departamental y por componentes - Ministerio del Ambiente*. From Plataforma Nacional de Datos Abiertos: <https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/huella-ecol%C3%B3gica-c%C3%A1pita-departamental-y-por-componentes-ministerio-del-ambiente>
- MINEDU. (2005). *ORGANIZACIÓN DE LA EDUCACIÓN BÁSICA REGULAR*. From [https://gluquel.tripod.com/EduOrganizacion.htm#:~:text=b\)%20nivel%20de%20educaci%C3%B3n%20Primaria,su%20ambiente%20natural%20y%20social](https://gluquel.tripod.com/EduOrganizacion.htm#:~:text=b)%20nivel%20de%20educaci%C3%B3n%20Primaria,su%20ambiente%20natural%20y%20social).
- Ministerio del Ambiente . (2024). *Huella ecológica per cápita departamental y por componentes*. From Plataforma Nacional de Datos Abiertos : <https://datosabiertos.gob.pe/dataset/huella-ecol%C3%B3gica-c%C3%A1pita-departamental-y-por-componentes-ministerio-del-ambiente>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2024). *Huella ecológica per cápita departamental y por componentes - Ministerio del Ambiente*. From Plataforma Nacional de Datos Abiertos: <https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/huella-ecol%C3%B3gica-c%C3%A1pita-departamental-y-por-componentes-ministerio-del-ambiente>
- Moreno, A. (2021). Hacia un nuevo paradigma económico. *Revista de Economía Institucional*, 23(44), 311-319. doi:10.18601/01245996.v23n44.14

- Naciones Unidas. (1973). *Report of the United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm, 5-16 June 1972*. Naciones Unidas. From <https://digitallibrary.un.org/record/523249?v=pdf>
- Navarro, J., Camacho, C., & Ayvar, F. (2023). Crecimiento económico y contaminación ambiental. Un análisis estadístico de América del Norte en el APEC. *Cimexus*, 18(1), 179-201. doi:10.33110/cimexus180111
- Núñez, M., & Ramirez, Y. (2019). Breve Introducción al estudio de la demografía histórica.
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, H. (2018). *Metodología de la Investigación: Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis*. DGP Editores SAS. From <https://corladancash.com/wp-content/uploads/2020/01/Metodologia-de-la-inv-cuanti-y-cuali-Humberto-Naupas-Paitan.pdf>
- Olascoaga, L. (2020). *Análisis del crecimiento económico y sus efectos en la degradación ambiental en el Perú bajo la curva ambiental de Kuznets en el periodo de los años 2000 al 2017*. [Tesis de Pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio Institucional USIL. From <https://hdl.handle.net/20.500.14005/9907>
- Oliveros, J., Castañeda, N., & Peñaranda, G. (2021). Revolución industrial y su impacto en el medio ambiente. *Lumen Gentium*, 6(2), 9-20. From <https://www.revistas.unicatolica.edu.co/revista/index.php/LumGent/article/download/454/255/1440>
- Ortiz, C., & Gómez, M. (2021). Economic Growth and Environmental Quality in Latin America, Perspective from Kuznets, 1970-2016. *Economía: teoría y práctica*, 1(55). doi:10.24275/etypuam/ne/552021/ortiz

- Panayotou, T. (1993). Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. *World Employment Programme Research*, 1(1). doi:10.1007/978-1-349-24245-0_2
- Pearce, D., & Turner, K. (1995). *Economía de los recursos naturales y del medio ambiente*. Celeste Ediciones. From <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=234782>
- Pérez, A., Regil, H., & François, J. (2021). Degradación ambiental por procesos de cambios de uso y cubierta del suelo desde una perspectiva espacial en el estado de Guanajuato, México. *Investigaciones geográficas*, 1(103), 1-20. doi:10.14350/rig.60150
- Pinzón, Y., & Guerrero, P. (2024). Índice de contaminación ambiental, consumo de energía no renovable, y políticas de eficiencia energética en Ecuador. *Revista Económica*, 12(1), 102-117. doi:10.54753/rve.v12i1.2048
- Quevedo, L. (2019). Aproximación crítica a la teoría económica propuesta por Schumpeter. *Revista Investigación y Negocios*, 12(20), 57-62. From http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2521-27372019000200006&script=sci_arttext
- Quinde, V., Bueno, M., Bucaram, R., & Saldaña, M. (2021). Relación de causalidad entre el crecimiento económico y deterioro medio ambiental: Caso G-8. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 25(111), 165-173. From <https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/download/527/991/>
- Radmehr, R., Rastegari, S., & Shayanmehr, S. (2021). Renewable Energy Consumption, CO2 Emissions, and Economic Growth Nexus: A Simultaneity Spatial Modeling Analysis of EU Countries. *Structural Change and Economic Dynamics*, 1(57), 13-27. doi:10.1016/j.strueco.2021.01.006

- Ramírez, G., Magaña, D., & Ojeda, R. (2022). Productividad, aspectos que benefician a la organización. Revisión sistemática de la producción científica. *Trascender, contabilidad y gestión*, 7(20), 189-208. doi:10.36791/tcg.v8i20.166
- Ramírez, V., & Antero, J. (2014). Evolución de las teorías de explotación de recursos naturales; hacia la creación de una nueva ética mundial. *Luna Azul*, 1(1), 291 - 313. From <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n39/n39a17.pdf>
- Rees, W. (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environment & Urbanization*, 4(2), 121-130. doi:10.1177/095624789200400212
- Robinson, J. (2022). Marx, Marshall y Keynes: tres criterios sobre el capitalismo. *El trimestre económico*, 89(356), 1175-1195. From <https://eltrimestreeconomico.com.mx/index.php/te/article/view/1663>
- Rodríguez, V. (2020). Régimen constitucional de la moneda y estabilidad del nivel general de precios en Perú. *Derecho PUCP*, 1(85), 277-320. doi:10.18800/derechopucp.202002.009
- Romer, D. (1996). *Macroeconomía avanzada*. McGraw-Hill. From https://www.ricardopanza.com.ar/files/macro2/Romer_Macroeconomia_Avanzada_Cap._1_a_3.pdf
- Ruiz, P. (2020). Sobre el crecimiento económico y su medición. *Economía UNAM*, 17(49), 107-115. doi:10.22201/fe.24488143e.2020.49.509.
- Samaniego, J., & Sánchez, J. A. (2022). Medio ambiente y desarrollo en un contexto centro-periferia. *El trimestre económico*, 89(353), 229-256. doi:10.20430/ete.v89i353.1422

- Selden, T., & Song, D. (1994). Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions? *Journal of Environmental Economics and Management*, 27(2), 147-162. doi:10.1006/jeem.1994.1031
- SIRTOD. (2025). *Sistema de Información Regional para la Toma de Decisiones*.
- Solórzano, J., Vera, J., & Buñay, J. (2022). Crecimiento económico y medio ambiente. *Saberes del Conocimiento*, 6(1), 203-212. doi:10.26820/reciamuc/6.(1).enero.2022.203-212
- Tafur, V. (2022). Conservación ecológica: caso Los Pantanos de Villa. *Revista EDUCA UMCH*, 1(19), 196-203. doi:10.35756/educaumch.202219.225
- Tocalema, L. (2022). *La huella ecológica y su impacto en el producto interno bruto (PIB) del Ecuador, período 2008 – 2017*. [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA. From <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/93bd250a-6826-401c-a4f5-22d149b571db/content>
- Tribunal Constitucional. (2016). *Plena del TC crea cinco Macro Regiones a nivel nacional*. From Tribunal Constitucional: <https://www.tc.gob.pe/institucional/notas-de-prensa/not-29eac0f13544613215e5c538f7ab0fe5/#:~:text=La%20macro%20regi%C3%B3n%20centro%20est%C3%A1,Sur%2C%20Lima%20Este%20y%20Ventanilla>
- Ulucak, R., & Lin, D. (2017). Persistence of policy shocks to Ecological Footprint of the USA. *Ecological Indicators*, 80(1), 337-343. doi:10.1016/j.ecolind.2017.05.020

- Varela, L. (2022). Modelos de crecimiento endógenos: Breve discusión. *REPIQUE - Revista de Ciencias Sociales*, 4(2), 85-96. From <http://revistasdigitales.utelvt.edu.ec/revista/index.php/repique/article/view/156/127>
- Vargas, F. (2005). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 117-127. From <https://scielo.isciii.es/pdf/resp/v79n2/editorial1.pdf>
- Wackernagel, M. (1994). *Ecological footprint and appropriated carrying capacity : a tool for planning toward sustainability*. University of British Columbia. Retrieved from <https://open.library.ubc.ca/soa/cIRcle/collections/ubctheses/831/items/1.0088048>
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1998). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers. Retrieved from https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=WVNEAQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&ots=VnVP6NxKOs&sig=076DTaCGLbcjyKYNngdGhwrviOI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Wang, Q. (2024). Reinvestigación de la curva ambiental de Kuznets (EKC). *Nature Humanities & Social Sciences Communications*.
- Wang, Q., Wei, X., & Rong, L. (2022). Does urbanization redefine the environmental Kuznets curve? An empirical analysis of 134 Countries. *Sustainable Cities and Society*, 76. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103382>
- Yalta, M. (2022). La contaminación ambiental: un espacio de reflexión y sus consecuencias. *Paidagogo. Revista de Investigación en Ciencias de la Educación*, 4(2), 70 - 80. From <https://educas.com.pe/index.php/paidagogo/article/download/134/398/423#:~:text=Conce>

ptos%20La%20contaminaci%C3%B3n%20es%20definida,tipos%20de%20contaminaci%C3%B3n%20son%20diversos.

Yang, R., Jin, X., Zhou, H., Ren, F., Zhang, X., Ma, Z., . . . Zhang, H. (2024). Regional Differences in Carbon Budgets and Inter-Regional Compensation Zoning: A Case Study of Chongqing, China. *Land*, 13(9), 1-19. doi:10.3390/land13091495

Zúñiga, M., Vargas, P., & Rivas, G. (2020). Impacto de la inflación y PIB per cápita en el gasto de consumo de los hogares de Ecuador, periodo 1990-2019. *Dominio de las Ciencias*, 6(4), 31-45. doi:10.23857/dc.v6i4.1450

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable dependiente: Degradación ambiental Indicador: Huella ecológica per cápita (Medida en hectáreas globales)	Enfoque de investigación: Cuantitativo
¿Cuál es la influencia del crecimiento económico en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA?	Determinar la influencia del crecimiento económico en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA.	El crecimiento económico influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA.		Nivel de Investigación: Descriptivo – explicativo
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable independiente: Crecimiento económico Indicadores: PBI per cápita del sector primario PBI per cápita del sector secundario PBI per cápita del sector terciario (Medido en Miles soles)	Diseño de Investigación: No experimental – Longitudinal
¿Cuál es la influencia del crecimiento económico del sector primario en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA?	Determinar la influencia del crecimiento económico del sector primario en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA.	El crecimiento económico del sector primario influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA.		Población: Series estadísticas de las 7 regiones de la macroregión centro del Perú (Apurímac, Huancavelica, Junín, Ica, Ayacucho, Huánuco, Pasco).
¿Cuál es la influencia del crecimiento económico del sector secundario en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA?	Determinar la influencia del crecimiento económico del sector secundario en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA.	El crecimiento económico del sector secundario influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA.		Muestra: 105 observaciones.
¿Cuál es la influencia del crecimiento económico del sector terciario en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA?	Determinar la influencia del crecimiento económico del sector terciario en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA.	El crecimiento económico del sector terciario influye de manera significativa en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, periodo 2009 – 2023, bajo el enfoque de la CKA.		Técnicas e instrumentos de recolección de datos: Análisis documental – ficha de registro.

Anexo 2: Base de datos

Región	Año	Huella Ecológica (pc)	PBI per cápita (miles de soles)	PBIP_per cápita (miles de soles)	PBIS_per cápita (miles de soles)	PBIT_per cápita (miles de soles)	Venta_electricidad (Gigawatt hora)	Años promedio de educ por la población de 15 y más años de edad (Años)	Muni_Polit_a mbientales (N° de municipalidades)	Población (número de personas)	tasa_urba (proporción)
reg	year	he	pbipc	pbippc	pbispc	pbitpc	elec	aeduc	mpamb	pob	turb
Apurímac	2009	0.992	3.766	1.061	0.560	2.145	82.7	8.8	11	431,180	0.35
Apurímac	2010	1.041	4.112	0.933	0.874	2.305	101.2	8.7	9	429,378	0.35
Apurímac	2011	1.076	4.373	0.988	0.900	2.484	110.5	8.7	6	427,511	0.37
Apurímac	2012	0.997	4.962	1.094	1.207	2.661	120.6	9.0	4	425,396	0.38
Apurímac	2013	1.160	5.533	1.116	1.593	2.823	130.2	9.2	7	423,432	0.38
Apurímac	2014	1.187	5.776	1.171	1.644	2.960	97.7	9.1	3	422,017	0.40
Apurímac	2015	1.368	6.240	1.582	1.524	3.134	202.8	9.4	5	421,546	0.40
Apurímac	2016	1.384	15.012	10.092	1.630	3.290	1,179.8	9.2	6	422,534	0.40
Apurímac	2017	1.412	18.173	13.260	1.545	3.368	1,390.1	9.2	8	424,717	0.40
Apurímac	2018	1.485	16.688	11.534	1.667	3.488	1,304.8	9.1	11	427,323	0.46
Apurímac	2019	1.569	16.692	11.412	1.672	3.608	1,302.9	9.7	11	429,587	0.46
Apurímac	2020	1.658	14.971	10.176	1.372	3.422	1,215.1	9.7	9	430,736	0.47
Apurímac	2021	1.712	15.293	9.976	1.647	3.670	1,309.8	9.6	8	430,609	0.47
Apurímac	2022	1.780	14.637	9.098	1.809	3.729	1,204.3	9.7	11	429,720	0.46
Apurímac	2023	1.833	15.614	10.342	1.466	3.806	1,496.2	9.7	8	428,311	0.46
Huancavelica	2009	0.800	6.005	2.050	2.202	1.753	195.5	8.2	9	448,966	0.20
Huancavelica	2010	0.901	6.388	2.076	2.455	1.856	215.0	8.2	7	441,097	0.20
Huancavelica	2011	0.906	6.728	2.220	2.469	2.039	262.2	8.4	5	432,381	0.21
Huancavelica	2012	0.901	7.443	2.352	2.814	2.276	274.4	8.3	3	422,373	0.21
Huancavelica	2013	0.955	7.707	2.322	2.943	2.442	247.1	8.5	6	411,961	0.21
Huancavelica	2014	0.873	8.163	2.422	3.129	2.612	240.5	8.3	7	402,033	0.23
Huancavelica	2015	1.026	8.300	2.179	3.349	2.771	256.3	8.7	6	393,473	0.23
Huancavelica	2016	1.064	8.308	1.946	3.422	2.940	216.6	8.9	11	386,752	0.23

Huancavelica	2017	1.059	8.799	1.889	3.815	3.096	195.8	8.7	6	381,277	0.23
Huancavelica	2018	1.078	9.367	1.978	4.098	3.291	124.9	8.8	6	376,346	0.31
Huancavelica	2019	1.115	9.502	2.000	4.047	3.455	169.9	8.9	2	371,260	0.31
Huancavelica	2020	1.154	8.977	1.676	3.939	3.362	143.5	9.4	4	365,317	0.31
Huancavelica	2021	1.188	9.744	1.810	4.326	3.607	158.9	9.3	6	358,356	0.31
Huancavelica	2022	1.231	9.781	1.900	4.103	3.778	173.4	9.6	4	350,845	0.31
Huancavelica	2023	1.241	10.201	2.211	4.072	3.918	213.0	9.7	1	343,026	0.31
Junín	2009	1.612	7.073	2.167	1.447	3.459	831.9	9.8	25	1,277,951	0.63
Junín	2010	1.638	7.438	2.281	1.394	3.763	752.8	9.7	23	1,279,658	0.63
Junín	2011	1.640	7.812	2.295	1.489	4.028	768.8	9.9	19	1,281,293	0.63
Junín	2012	1.461	8.358	2.385	1.641	4.332	925.8	9.9	17	1,282,363	0.66
Junín	2013	1.686	8.641	2.334	1.778	4.529	1,448.1	10.0	22	1,284,027	0.66
Junín	2014	1.784	9.625	3.154	1.763	4.707	1,901.6	10.0	19	1,287,449	0.66
Junín	2015	1.782	11.140	4.464	1.756	4.920	1,981.7	9.9	21	1,293,785	0.66
Junín	2016	1.784	10.950	4.166	1.667	5.117	1,875.2	9.8	19	1,304,632	0.66
Junín	2017	1.812	11.336	4.448	1.649	5.238	1,852.7	9.8	24	1,319,212	0.66
Junín	2018	1.859	11.579	4.485	1.700	5.395	1,589.7	9.9	21	1,335,139	0.71
Junín	2019	1.917	11.356	4.163	1.677	5.516	1,706.0	10.0	15	1,350,021	0.71
Junín	2020	1.983	10.183	3.729	1.424	5.030	1,476.8	10.1	19	1,361,467	0.72
Junín	2021	1.986	11.644	4.368	1.739	5.537	1,651.2	10.0	17	1,369,003	0.72
Junín	2022	2.017	11.878	4.326	1.839	5.713	1,678.7	10.2	22	1,374,221	0.72
Junín	2023	2.065	11.471	4.001	1.693	5.778	1,620.8	10.4	23	1,377,838	0.72
Ica	2009	1.997	14.386	3.853	5.432	5.101	1,611.9	10.6	15	753,634	0.90
Ica	2010	2.074	15.150	3.930	5.737	5.483	1,807.3	10.5	14	766,179	0.90
Ica	2011	2.340	16.521	4.702	5.991	5.828	1,899.4	10.7	16	779,799	0.90
Ica	2012	2.174	16.452	4.640	5.655	6.157	1,997.2	10.8	9	794,286	0.92
Ica	2013	2.273	17.770	4.982	6.405	6.383	2,268.1	10.8	9	810,074	0.92
Ica	2014	2.331	17.895	5.248	6.107	6.540	2,222.8	10.9	8	827,591	0.92
Ica	2015	2.399	18.053	5.416	5.975	6.662	2,328.2	10.9	17	847,268	0.92
Ica	2016	2.531	17.612	5.179	5.684	6.749	2,298.1	11.0	15	870,166	0.92

Ica	2017	2.557	18.088	5.480	5.842	6.766	2,498.8	11.0	19	896,000	0.92
Ica	2018	2.607	18.409	5.682	5.900	6.827	2,699.7	11.2	19	923,175	0.93
Ica	2019	2.649	18.584	5.681	6.044	6.859	3,002.1	11.2	13	950,100	0.93
Ica	2020	2.751	16.010	5.027	4.955	6.027	2,619.1	10.9	11	975,182	0.93
Ica	2021	2.811	19.647	6.697	6.342	6.608	3,407.2	10.8	7	998,144	0.93
Ica	2022	2.875	20.462	7.043	6.723	6.697	3,926.8	10.9	8	1,020,050	0.93
Ica	2023	2.934	20.055	7.418	5.963	6.674	4,027.9	11.1	4	1,041,312	0.93
Ayacucho	2009	1.212	5.802	2.232	1.024	2.547	98.3	8.8	19	646,351	0.50
Ayacucho	2010	1.287	6.066	2.251	1.119	2.696	107.4	9.0	15	646,633	0.50
Ayacucho	2011	1.313	6.361	2.254	1.247	2.860	111.7	9.0	9	646,321	0.50
Ayacucho	2012	1.206	6.949	2.447	1.397	3.105	126.9	9.1	15	645,093	0.52
Ayacucho	2013	1.323	7.621	2.741	1.581	3.300	158.2	9.1	20	643,788	0.52
Ayacucho	2014	1.395	7.586	2.595	1.540	3.451	164.6	8.9	10	643,251	0.54
Ayacucho	2015	1.382	8.012	2.844	1.546	3.622	177.7	9.0	20	644,322	0.54
Ayacucho	2016	1.433	7.993	2.802	1.413	3.778	187.4	9.1	17	647,794	0.55
Ayacucho	2017	1.447	8.348	2.956	1.497	3.895	147.9	9.2	15	653,101	0.55
Ayacucho	2018	1.473	8.740	3.145	1.584	4.011	151.6	9.3	21	659,061	0.58
Ayacucho	2019	1.513	8.926	3.227	1.570	4.129	253.7	9.3	13	664,494	0.58
Ayacucho	2020	1.563	7.772	2.513	1.409	3.850	263.7	9.4	13	668,213	0.59
Ayacucho	2021	1.578	8.649	2.764	1.702	4.183	286.9	9.5	9	669,979	0.59
Ayacucho	2022	1.604	8.939	2.992	1.661	4.286	260.1	9.6	14	670,579	0.59
Ayacucho	2023	1.642	8.763	2.772	1.619	4.373	263.7	9.9	5	670,377	0.59
Huánuco	2009	0.941	4.497	1.278	0.828	2.391	108.5	8.1	8	778,293	0.36
Huánuco	2010	1.033	4.828	1.324	0.892	2.612	127.1	8.2	12	774,475	0.36
Huánuco	2011	1.159	5.137	1.339	0.966	2.832	139.1	8.4	8	770,088	0.37
Huánuco	2012	1.177	5.728	1.406	1.198	3.124	151.3	8.6	9	764,721	0.37
Huánuco	2013	1.282	6.114	1.575	1.204	3.336	170.0	8.7	8	759,313	0.37
Huánuco	2014	1.243	6.359	1.614	1.226	3.519	165.1	8.4	11	754,809	0.39
Huánuco	2015	1.372	6.800	1.841	1.259	3.701	182.4	8.5	16	752,150	0.39
Huánuco	2016	1.389	7.106	1.842	1.386	3.878	215.8	8.5	8	752,248	0.39

Huánuco	2017	1.478	7.730	2.049	1.677	4.004	216.8	8.6	12	754,476	0.39
Huánuco	2018	1.524	7.934	1.999	1.792	4.144	173.3	8.7	12	757,467	0.52
Huánuco	2019	1.570	8.004	2.031	1.711	4.262	246.6	8.8	13	759,851	0.52
Huánuco	2020	1.630	7.152	1.698	1.592	3.861	189.5	8.8	10	760,267	0.53
Huánuco	2021	1.683	7.871	1.681	1.909	4.281	200.9	8.6	12	758,416	0.53
Huánuco	2022	1.752	8.238	1.982	1.820	4.437	238.4	8.7	5	755,213	0.53
Huánuco	2023	1.798	8.774	2.462	1.760	4.552	284.8	9.0	5	751,097	0.53
Pasco	2009	1.243	17.830	13.680	1.239	2.910	507.6	9.6	8	282,725	0.61
Pasco	2010	2.309	16.724	12.234	1.347	3.144	548.5	9.6	7	281,169	0.61
Pasco	2011	1.334	16.619	11.917	1.296	3.407	592.3	9.7	5	279,306	0.63
Pasco	2012	1.358	17.620	12.405	1.497	3.718	592.6	9.9	8	276,967	0.63
Pasco	2013	1.317	17.796	12.063	1.826	3.907	524.8	9.9	10	274,546	0.65
Pasco	2014	1.359	18.524	12.707	1.737	4.080	600.7	9.6	12	272,435	0.65
Pasco	2015	1.361	19.228	12.983	1.938	4.307	721.4	9.8	15	271,027	0.65
Pasco	2016	1.367	19.691	13.371	1.833	4.487	805.2	9.8	11	270,648	0.65
Pasco	2017	1.250	19.679	13.265	1.828	4.586	786.4	9.9	10	271,036	0.65
Pasco	2018	1.071	19.645	13.062	1.842	4.741	1,145.9	10.0	12	271,704	0.63
Pasco	2019	1.183	20.003	13.171	1.962	4.870	1,175.6	10.0	5	272,157	0.63
Pasco	2020	1.135	16.291	10.273	1.445	4.574	967.4	10.2	4	271,904	0.64
Pasco	2021	1.088	19.464	12.607	1.761	5.096	1,195.8	9.8	10	270,842	0.64
Pasco	2022	1.026	19.958	12.928	1.817	5.214	1,267.0	10.1	4	269,296	0.64
Pasco	2023	0.972	20.426	13.369	1.702	5.355	1,257.5	10.2	3	267,425	0.64

Nota. INEI (2024); MINAM (2024) y SIRTOD (2025)

Anexo 3: Estadística Descriptiva del Modelo

La figura muestra que la mayor variabilidad se explica por diferencias estructurales entre regiones (between) más que por cambios en el tiempo dentro de cada región (within). En el caso de la huella ecológica, la desviación estándar between (0.47) es mayor que la within (0.23), lo que indica que existen marcadas diferencias en la presión ambiental entre regiones, mientras que sus variaciones interanuales son relativamente menores. De forma similar, el PBI per cápita presenta una desviación estándar between (4.78) superior a la within (2.46), evidenciando que las brechas económicas entre regiones son más significativas que sus cambios a lo largo del tiempo.

En conjunto, estos resultados sugieren que tanto la presión ambiental como el nivel de desarrollo económico están determinados principalmente por diferencias regionales persistentes más que por fluctuaciones temporales.

Figura 1

Resumen de between–within

. xtsum he pbipc pbippc pbispc pbitpc elec aeduc mpamb pob turb

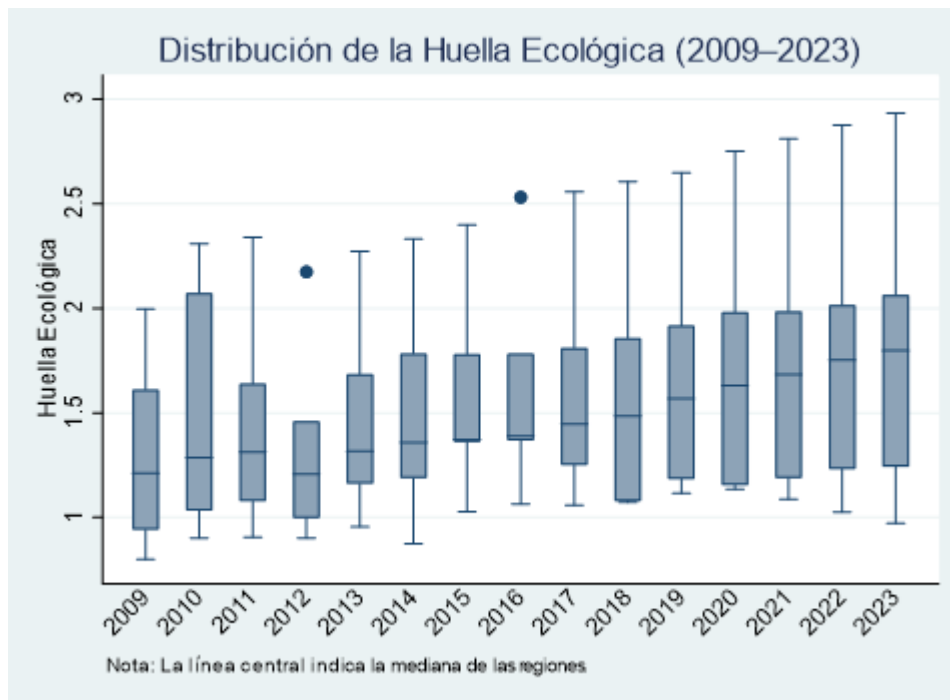
Variable		Mean	Std. Dev.	Min	Max	Observations	
he	overall	1.545243	.4979879	.7995792	2.934342	N =	105
	between		.4730648	1.032801	2.486846	n =	7
	within		.2330822	1.054981	2.562693	T =	15
pbipc	overall	11.43934	5.089242	3.765947	20.4619	N =	105
	between		4.783966	6.818129	18.63327	n =	7
	within		2.468787	4.415905	18.82332	T =	15
pbippc	overall	4.907603	4.048519	.9326957	13.68041	N =	105
	between		3.811757	1.741229	12.66896	n =	7
	within		1.953692	-.4154547	11.912	T =	15
pbispc	overall	2.41815	1.625372	.5604689	6.722738	N =	105
	between		1.699736	1.407424	5.917144	n =	7
	within		.3763649	1.207948	3.332105	T =	15
pbitpc	overall	4.11359	1.279512	1.75338	6.858802	N =	105
	between		1.197101	2.879794	6.35721	n =	7
	within		.6300882	2.701617	5.175238	T =	15
elec	overall	888.2876	912.4043	82.7	4027.9	N =	105
	between		880.9192	183.9867	2574.307	n =	7
	within		401.1571	-74.11905	2341.881	T =	15
aeduc	overall	9.507619	.7941729	8.1	11.2	N =	105
	between		.7931506	8.573333	10.88667	n =	7
	within		.2937817	8.914286	10.41429	T =	15
mpamb	overall	11.21905	5.764582	1	25	N =	105
	between		4.991209	5.533333	20.4	n =	7
	within		3.416401	1.885714	17.95238	T =	15
pob	overall	672818.2	335239	267425	1377838	N =	105
	between		357736	273545.8	1318537	n =	7
	within		40466.63	542921.5	830599.5	T =	15
turb	overall	.5553333	.2050191	.2	.93	N =	105
	between		.215721	.254	.92	n =	7
	within		.0419722	.4786667	.6486667	T =	15

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación..

La figura muestra que, a lo largo del periodo 2009–2023, la mediana de la huella ecológica presenta una tendencia creciente, lo que sugiere un incremento progresivo de la presión ambiental en las regiones. Asimismo, en los años más recientes se observa que los diagramas de caja tienen un rango intercuartílico (IQR) más amplio y bigotes más largos en comparación con los primeros años. Esto indica una mayor dispersión de la huella ecológica entre regiones, es decir, las diferencias territoriales en los niveles de presión ambiental se han intensificado con el tiempo. En conjunto, la evidencia sugiere no solo un aumento general de la huella ecológica, sino también una ampliación de las brechas ambientales regionales durante el periodo analizado.

Figura 2

Distribución de la Huella Ecológica



Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación..

A continuación, la matriz de correlaciones muestra que la huella ecológica (he) mantiene una relación positiva y estadísticamente significativa con la mayoría de variables económicas y estructurales. Destaca su alta correlación con el PBI total (pbitpc) (0.8369), el consumo de electricidad (elec) (0.8387) y el grado de urbanización (turb) (0.8384), lo que sugiere que mayores niveles de actividad económica, demanda energética y urbanización están asociados con una mayor presión ambiental. Por otro lado, se observa que las variables económicas entre sí presentan correlaciones elevadas (por ejemplo, entre PBI total, electricidad, urbanización y educación), lo que evidencia una fuerte asociación estructural entre crecimiento económico, desarrollo urbano y consumo energético. Esto puede anticipar posibles problemas de multicolinealidad en el modelo econométrico.

Figura 3

Matriz de Correlaciones

	he	pbipc	pbippc	pbispc	pbitpc	aeduc	elec	turb	pob	mpamb
he	1.0000									
pbipc	0.4991* 0.0000	1.0000								
pbippc	0.1147 0.2441	0.8592* 0.0000	1.0000							
pbispc	0.6183* 0.0000	0.4685* 0.0000	-0.0107 0.9138	1.0000						
pbitpc	0.8369* 0.0000	0.6639* 0.0000	0.2668* 0.0059	0.6268* 0.0000	1.0000					
aeduc	0.7861* 0.0000	0.7546* 0.0000	0.4254* 0.0000	0.6111* 0.0000	0.8788* 0.0000	1.0000				
elec	0.8387* 0.0000	0.7023* 0.0000	0.3564* 0.0002	0.6473* 0.0000	0.8436* 0.0000	0.8482* 0.0000	1.0000			
turb	0.8384* 0.0000	0.6498* 0.0000	0.3316* 0.0005	0.5027* 0.0000	0.8968* 0.0000	0.8960* 0.0000	0.7964* 0.0000	1.0000		
pob	0.5774* 0.0000	-0.1395 0.1557	-0.3773* 0.0001	0.1118 0.2562	0.4969* 0.0000	0.3392* 0.0004	0.4696* 0.0000	0.4880* 0.0000	1.0000	
mpamb	0.3424* 0.0003	-0.0617 0.5320	-0.1362 0.1659	-0.0977 0.3212	0.3098* 0.0013	0.2618* 0.0070	0.2377* 0.0146	0.4230* 0.0000	0.7032* 0.0000	1.0000

Anexo 4: Estimación y Selección del Modelo

Para validar la hipótesis de Kuznets ambiental, se construyeron las variables cuadráticas del PBI per cápita mediante $pbipc2 = pbipc^2$. Un coeficiente positivo significativo de $pbipc$ junto a un coeficiente negativo significativo de $pbipc2$ confirmaría la clásica relación en U invertida: la huella ecológica aumenta durante las etapas iniciales del desarrollo económico para luego disminuir una vez que las regiones superan determinados umbrales de ingreso per cápita.

a) Test de Multicolinealidad (VIF)

El Factor de Inflación de la Varianza (VIF) se utiliza para detectar multicolinealidad en regresiones, que ocurre cuando las variables explicativas están altamente correlacionadas entre sí. Esto infla los errores estándar de los coeficientes, haciendo que los tests de significancia sean poco confiables, aunque los coeficientes puedan ser correctos. Los valores esperados son: $VIF < 5$ (ideal), 5-10 (aceptable), y > 10 (problemático).

Figura 4

Test de Multicolinealidad (VIF)

. vif

Variable	VIF	1/VIF
pbipc2	70.99	0.014087
pbipc	62.97	0.015880
aeduc	9.36	0.106831
elec	8.83	0.113233
turb	8.69	0.115066
pob	8.03	0.124490
mpamb	2.45	0.408190
Mean VIF	24.48	

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación..

Los resultados del test de multicolinealidad muestran valores elevados del VIF para las variables PBI per cápita (62.97) y su término cuadrático (70.99), lo que indica la presencia de multicolinealidad alta. No obstante, esta situación es esperada debido a la inclusión simultánea de una variable y su transformación cuadrática para evaluar la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental. En este contexto, la multicolinealidad no invalida el modelo, ya que ambas variables son necesarias para capturar la posible relación no lineal entre crecimiento económico y huella ecológica.

b) Test de Raíz Unitaria (Estacionariedad)

Se aplicó el test de raíz unitaria tipo Fisher basado en pruebas Dickey–Fuller aumentadas (ADF) para la variable Huella Ecológica (he) en datos de panel. La hipótesis nula establece que todas las regiones presentan raíz unitaria, es decir, que la variable no es estacionaria, mientras que la hipótesis alternativa señala que al menos una región es estacionaria.

H0: Las series tienen raíz unitaria (No estacionarias)

H1: Las series no tienen raíz unitaria (Estacionarias)

b.1. Test de Raíz Unitaria para la variable dependiente (Huella Ecológica)

Figura 5

Test de Raíz Unitaria para la variable dependiente (Huella Ecológica)

```
. xtunitroot fisher he, dfuller lags(1)
```

Fisher-type unit-root test for he
Based on augmented Dickey-Fuller tests

Ho: All panels contain unit roots	Number of panels =	7
Ha: At least one panel is stationary	Number of periods =	15

AR parameter: Panel-specific	Asymptotics: T -> Infinity
Panel means: Included	
Time trend: Not included	
Drift term: Not included	ADF regressions: 1 lag

		Statistic	p-value
Inverse chi-squared(14)	P	15.8762	0.3210
Inverse normal	Z	1.9299	0.9732
Inverse logit t(39)	L*	1.6558	0.9471
Modified inv. chi-squared Pm		0.3546	0.3615

P statistic requires number of panels to be finite.
Other statistics are suitable for finite or infinite number of panels.

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación..

Se aplicó el test de raíz unitaria tipo Fisher basado en pruebas Dickey–Fuller aumentadas (ADF) para la variable Huella Ecológica (he) en datos de panel. Los resultados muestran que todos los estadísticos reportados presentan valores p mayores a 0.05 ($P = 0.3210$, $Z = 0.9732$, $L^* = 0.9471$ y $Pm = 0.3615$), por lo que no se rechaza la hipótesis nula. En consecuencia, se concluye que la Huella Ecológica no es estacionaria en niveles para las regiones analizadas durante el periodo de estudio. Este resultado justifica la aplicación de transformaciones como primeras diferencias o modelos en logaritmos, con el fin de evitar estimaciones espurias y garantizar la validez econométrica del modelo.

b.2. Test de Raíz Unitaria para la variable independiente principal (PBI pc)

Figura 6

Test de Raíz Unitaria para la variable independiente principal (PBI pc)

```
. xtunitroot fisher pbipc, dfuller lags(1)
```

Fisher-type unit-root test for pbipc
Based on augmented Dickey-Fuller tests

Ho: All panels contain unit roots	Number of panels =	7
Ha: At least one panel is stationary	Number of periods =	15

AR parameter: Panel-specific	Asymptotics: T -> Infinity
Panel means: Included	
Time trend: Not included	
Drift term: Not included	ADF regressions: 1 lag

		Statistic	p-value
Inverse chi-squared(14)	P	9.6812	0.7851
Inverse normal	Z	0.1264	0.5503
Inverse logit t(39)	L*	0.1138	0.5450
Modified inv. chi-squared	Pm	-0.8162	0.7928

P statistic requires number of panels to be finite.
Other statistics are suitable for finite or infinite number of panels.

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación..

Se aplicó el test de raíz unitaria tipo Fisher basado en pruebas Dickey–Fuller aumentadas (ADF) para la variable PBI per cápita (pbipc) en datos de panel. La hipótesis nula plantea que todas las regiones presentan raíz unitaria, mientras que la alternativa señala que al menos una región es estacionaria. Los resultados muestran que todos los estadísticos presentan valores p mayores a 0.05 ($P = 0.7851$, $Z = 0.5503$, $L^* = 0.5450$ y $Pm = 0.7928$), por lo que no se rechaza la hipótesis nula. En consecuencia, se concluye que el PBI per cápita no es estacionario en niveles para las regiones de la macroregión centro del Perú durante el periodo analizado.

c) Modelo en Primeras Diferencias (First Differences)

Figura 7

Modelo en Primeras Diferencias (First Differences)

```
. xtreg d.he d.pbipc d.pbipc2 d.aeduc d.elec d.turb d.mpamb d.pob, fe
```

```
Fixed-effects (within) regression      Number of obs   =      98
Group variable: id_region             Number of groups =       7
```

```
R-sq:                               Obs per group:
  within = 0.0359                      min =          14
  between = 0.0161                     avg =         14.0
  overall = 0.0299                     max =          14
```

corr(u_i, Xb) = -0.2230	F(7,84)	=	0.45
	Prob > F	=	0.8698

D.he	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
pbipc D1.	-.0108918	.0570666	-0.19	0.849	-.1243749	.1025913
pbipc2 D1.	-.0004728	.0019339	-0.24	0.807	-.0043186	.003373
aeduc D1.	-.0161388	.1100574	-0.15	0.884	-.2350001	.2027224
elec D1.	.0000931	.000156	0.60	0.552	-.0002172	.0004033

turb						
D1.	-1.246667	.9990771	-1.25	0.216	-3.233441	.7401075
mpamb						
D1.	.0025941	.0044157	0.59	0.558	-.006187	.0113753
pob						
D1.	1.33e-06	5.48e-06	0.24	0.809	-9.57e-06	.0000122
_cons	.0466655	.0262703	1.78	0.079	-.0055759	.0989069
sigma_u	.03296572					
sigma_e	.16941797					
rho	.03648097	(fraction of variance due to u_i)				
F test that all u_i=0: F(6, 84) = 0.47						
					Prob > F = 0.8322	

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación..

El modelo estimado en primeras diferencias muestra que ninguno de los coeficientes es estadísticamente significativo al 5%, ya que todos los p-valores superan dicho nivel. Asimismo, la prueba F (Prob > F = 0.8698) indica que el modelo no es globalmente significativo, por lo que no se rechaza la hipótesis de que los coeficientes sean conjuntamente iguales a cero. Esto sugiere que los cambios anuales en las variables explicativas no tienen un efecto significativo sobre los cambios anuales en la huella ecológica, y por tanto se rechaza el modelo.

d) Estimación y selección de modelo (Agrupado VS Fijos VS Aleatorios)

d.1) Modelo Agrupado (Pooled Ols)

El modelo agrupado estima la relación entre la Huella Ecológica ($\ln_{he}$) y sus determinantes económicos, sociales y ambientales, asumiendo que todas las regiones comparten un comportamiento homogéneo. El término constante es negativo y significativo, lo cual no tiene una interpretación económica directa en un modelo logarítmico, pero actúa como punto de ajuste

del modelo. Por ello, no se adopta como modelo final, sino como línea base comparativa frente a los modelos de efectos fijos y aleatorios, que son más apropiados para datos de panel.

Figura 8

Modelo Agrupado (Pooled Ols)

```
. reg ln_he ln_pbipc ln_pbipc2 aeduc ln_elec turb ln_pob mpamb
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	105
Model	8.07452368	7	1.15350338	F(7, 97)	=	73.12
Residual	1.53023011	97	.015775568	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.8407
				Adj R-squared	=	0.8292
Total	9.6047538	104	.092353402	Root MSE	=	.1256

ln_he	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
ln_pbipc	.4602361	.3660341	1.26	0.212	-.2662403	1.186713
ln_pbipc2	-.0137596	.0925811	-0.15	0.882	-.1975074	.1699882
aeduc	.1020002	.04789	2.13	0.036	.0069519	.1970486
ln_elec	-.0944906	.0412313	-2.29	0.024	-.1763234	-.0126578
turb	.312263	.2195631	1.42	0.158	-.123509	.748035
ln_pob	.456003	.077537	5.88	0.000	.3021135	.6098925
mpamb	-.0079787	.0029995	-2.66	0.009	-.0139319	-.0020255
_cons	-7.139062	.926285	-7.71	0.000	-8.977481	-5.300642

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación..

d.2) Modelo de Efectos Fijos (Fixed Effects - Fe)

Con el fin de obtener estimaciones más consistentes, se emplea el modelo de efectos fijos (FE), el cual permite controlar la heterogeneidad no observada propia de cada región que permanece constante en el tiempo.

Figura 9

Modelo de Efectos Fijos (Fixed Effects - Fe)

```
. xtreg ln_he ln_pbipc ln_pbipc2 aeduc ln_elec turb ln_pob mpamb, fe
```

Fixed-effects (within) regression
Group variable: id_region

Number of obs = 105
Number of groups = 7

R-sq:
within = 0.7078
between = 0.7185
overall = 0.6425

Obs per group:
min = 15
avg = 15.0
max = 15

F(7,91) = 31.50
Prob > F = 0.0000

corr(u_i, Xb) = -0.9271

ln_he	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
ln_pbipc	2.155144	.4196806	5.14	0.000	1.3215	2.988788
ln_pbipc2	-.3826289	.0941506	-4.06	0.000	-.5696475	-.1956104
aeduc	.1062781	.0454432	2.34	0.022	.0160108	.1965454
ln_elec	-.1487389	.0442156	-3.36	0.001	-.2365678	-.06091
turb	.7149226	.35437	2.02	0.047	.0110101	1.418835
ln_pob	1.121651	.2071603	5.41	0.000	.710152	1.533149
mpamb	.0009653	.0027129	0.36	0.723	-.0044236	.0063541
_cons	-17.8868	2.949987	-6.06	0.000	-23.74659	-12.02701
sigma_u	.46321214					
sigma_e	.08906756					
rho	.9643457	(fraction of variance due to u_i)				

F test that all u_i=0: F(6, 91) = 16.98 Prob > F = 0.0000

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación..

El modelo de efectos fijos resulta globalmente significativo (Prob > F = 0.0000), indicando que las variables explicativas influyen conjuntamente sobre la huella ecológica.. Asimismo, el signo positivo del PBI per cápita y negativo de su término cuadrático confirma la existencia de una relación no lineal consistente con la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental. Por tanto, se rechaza el modelo Agrupado.

d.3) Modelo de Efectos Aleatorios (Random Effects - Re)

Como alternativa al modelo de efectos fijos, se estima el modelo de efectos aleatorios (RE), el cual asume que la heterogeneidad no observada entre regiones es aleatoria y no está correlacionada con las variables explicativas incluidas en el modelo.

Figura 9

Modelo de Efectos Aleatorios (Random Effects - Re)

. xtreg ln_he ln_pbipc ln_pbipc2 aeduc ln_elec turb ln_pob mpamb, re

Random-effects GLS regression	Number of obs	=	105
Group variable: id_region	Number of groups	=	7
R-sq:	Obs per group:		
within = 0.5907	min	=	15
between = 0.9317	avg	=	15.0
overall = 0.8407	max	=	15
	Wald chi2(7)	=	511.84
corr(u_i, X) = 0 (assumed)	Prob > chi2	=	0.0000

ln_he	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
ln_pbipc	.4602361	.3660341	1.26	0.209	-.2571775	1.17765
ln_pbipc2	-.0137596	.0925811	-0.15	0.882	-.1952152	.1676959
aeduc	.1020002	.04789	2.13	0.033	.0081376	.1958629
ln_elec	-.0944906	.0412313	-2.29	0.022	-.1753026	-.0136787
turb	.312263	.2195631	1.42	0.155	-.1180728	.7425988
ln_pob	.456003	.077537	5.88	0.000	.3040332	.6079727
mpamb	-.0079787	.0029995	-2.66	0.008	-.0138576	-.0020998
_cons	-7.139062	.926285	-7.71	0.000	-8.954547	-5.323576
sigma_u	0					
sigma_e	.08906756					
rho	0 (fraction of variance due to u_i)					

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación..

El modelo de efectos aleatorios es estadísticamente significativo en conjunto (Wald $\chi^2 = 511.84$; $p = 0.0000$), lo que resulta globalmente significativo; sin embargo, las variables PBI per cápita y su término cuadrático no son estadísticamente significativas, por lo que no se confirma la relación no lineal propuesta por la Curva de Kuznets Ambiental bajo esta especificación. En

contraste, el modelo de efectos fijos muestra coeficientes significativos y un alto grado de heterogeneidad regional ($\rho = 0.9643$), lo que sugiere que este modelo es más adecuado para la estructura de los datos.

Antes de pasar a la decisión final se realiza la prueba de Breusch-Pagan, para comparar el modelo Agrupado vs efectos Aleatorios

d.4) Test de Breusch-Pagan

Para determinar si es más apropiado utilizar un modelo agrupado (Pooled OLS) o un modelo de efectos aleatorios (RE), se aplica el test de Breusch-Pagan Lagrange Multiplier (LM).

Figura 10

Test de Breusch-Pagan

```
. xttest0
```

Breusch and Pagan Lagrangian multiplier test for random effects

$$\ln_he[id_region,t] = Xb + u[id_region] + e[id_region,t]$$

Estimated results:

	Var	sd = sqrt(Var)
ln_he	.0923534	.303897
e	.007933	.0890676
u	0	0

Test: $Var(u) = 0$

chibar2(01) = 0.00
 Prob > chibar2 = 1.0000

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación..

El test de Breusch-Pagan LM, evalúa si existe varianza significativa en los efectos aleatorios entre regiones. Los resultados muestran $\text{chibar}^2(01) = 0.00$ con $\text{Prob} > \text{chibar}^2 = 1.000$, lo que implica no rechazo de H_0 . Esto confirma que el modelo de efectos aleatorios no captura variación inter-regional adicional y se reduce matemáticamente al modelo agrupado ($\sigma_u = 0$).

Esta debilidad del modelo aleatorio es consistente con la estructura de los datos, donde las diferencias regionales están fuertemente correlacionadas con las variables explicativas (como PBI per cápita y población), invalidando los supuestos de efectos aleatorios. La decisión final se confirmará mediante el test de Hausman.

d.5) Test de Hausman (La decisión final)

Compara los coeficientes de Efectos Fijos vs Efectos Aleatorios.

H0: La diferencia en los coeficientes no es sistemática (Usar Efectos Aleatorios).

H1: La diferencia es sistemática (Usar Efectos Fijos).

Figura 11

Test de Hausman

`. hausman fijos aleatorios`

	— Coefficients —		(b-B) Difference	sqrt(diag(V_b-V_B)) S.E.
	(b) fijos	(B) aleatorios		
ln_pbipc	2.155144	.4602361	1.694908	.2053068
ln_pbipc2	-.3826289	-.0137596	-.3688693	.0171195
aeduc	.1062781	.1020002	.0042779	.
ln_elec	-.1487389	-.0944906	-.0542483	.0159687
turb	.7149226	.312263	.4026596	.2781549
ln_pob	1.121651	.456003	.6656476	.1921026
mpamb	.0009653	-.0079787	.008944	.

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg
B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

chi2(7) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
= -144.81 chi2<0 ==> model fitted on these
data fails to meet the asymptotic
assumptions of the Hausman test;
see [suest](#) for a generalized test

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación.

La prueba de Hausman arroja un estadístico chi-cuadrado negativo ($\chi^2 = -144.81$), lo que indica que no se cumplen los supuestos asintóticos del test. Este resultado implica que la diferencia entre las matrices de covarianza no es definida positiva, señalando que el modelo de efectos aleatorios es inconsistente para la estructura de los datos.

En consecuencia, se opta por el modelo de efectos fijos (FE), ya que el Test F confirma la existencia de diferencias significativas entre regiones (Prob > F = 0.0000) y se evidencia una alta heterogeneidad individual ($\rho = 0.9643$). Por tanto, el modelo de efectos fijos es el más adecuado para la estimación final.

Estimando el modelo con efectos fijos, para controlar la heterogeneidad no observada de cada región, procediendo a la prueba de normalidad de los residuos.

e) Prueba de Normalidad de los Residuos

Pruebas Numéricas (Shapiro-Wilk y Skewness-Kurtosis)

H0: Los residuos se distribuyen normalmente.

H1: Los residuos NO se distribuyen normalmente.

Figura 12

Prueba Shapiro-Wilk

```
. swilk residuos_fe
```

Shapiro-Wilk W test for normal data					
Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
residuos_fe	105	0.80109	17.106	6.316	0.00000

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación.

La prueba de Shapiro-Wilk indica que los residuos del modelo de efectos fijos no siguen una distribución normal ($\text{Prob} > z = 0.0000$), por lo que se rechaza la hipótesis de normalidad. No obstante, dado el tamaño de la muestra y la naturaleza de los modelos de datos de panel, la no normalidad no afecta la consistencia de los estimadores.

Figura 13

Prueba Skewness-Kurtosis

`. sktest residuos_fe`

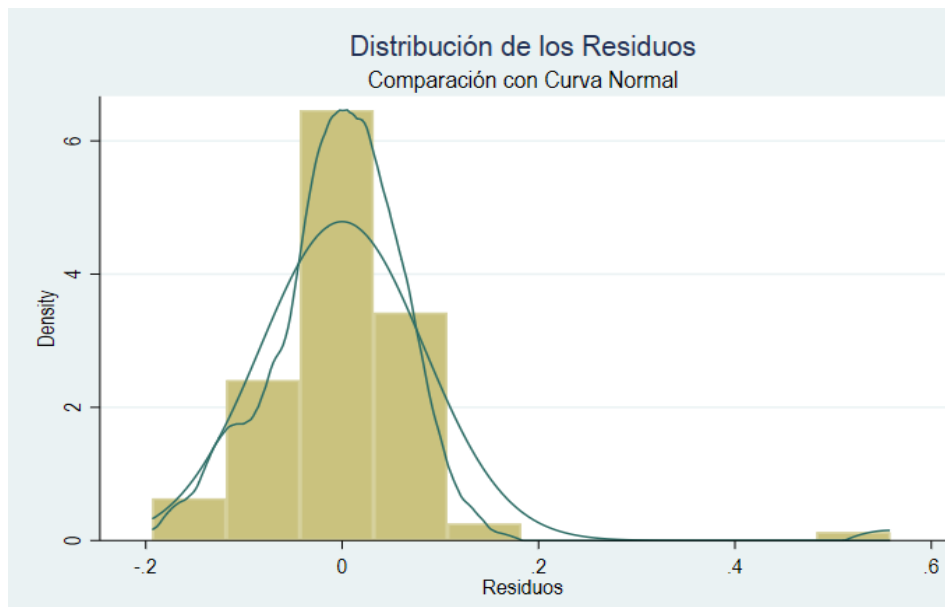
Skewness/Kurtosis tests for Normality					
Variable	Obs	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis)	joint adj chi2(2)	Prob>chi2
residuos_fe	105	0.0000	0.0000	64.81	0.0000

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación..

La prueba de asimetría y curtosis (sktest) rechaza la hipótesis nula de normalidad de los residuos ($\text{Prob} > \chi^2 = 0.0000$). Tanto la asimetría como la curtosis resultan estadísticamente significativas, lo que confirma que los residuos del modelo de efectos fijos no siguen una distribución normal. Este resultado refuerza la conclusión de Shapiro-Wilk y es típico en datos empíricos de panel.

Figura 14

Distribución de los residuos

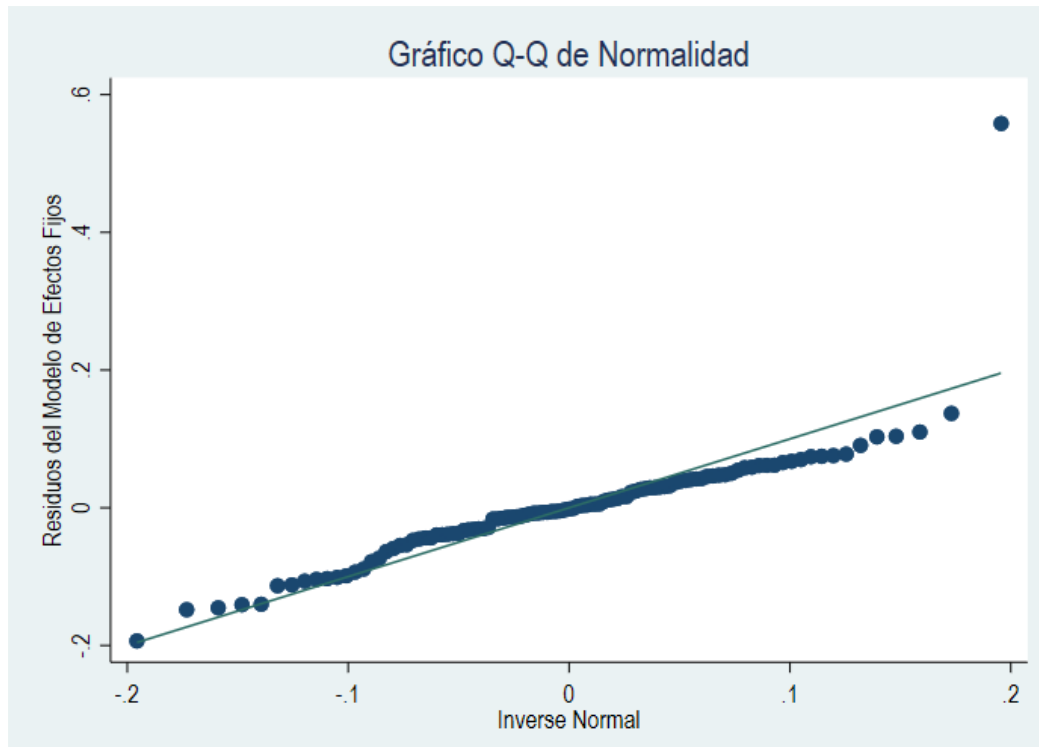


Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación.

El histograma de los residuos del modelo de efectos fijos con especificación log–log, junto con la curva normal superpuesta, muestra que la distribución de los residuos se aproxima razonablemente a una distribución normal, concentrándose la mayor parte de las observaciones alrededor del valor cero. Si bien se observa una ligera asimetría y algunos valores extremos, estas desviaciones no son severas y son comunes en modelos econométricos aplicados a datos de panel con tamaño de muestra reducido. En conjunto, la evidencia gráfica sugiere que el supuesto de normalidad de los residuos se cumple de manera aceptable, lo que respalda la validez estadística de las inferencias realizadas a partir del modelo estimado.

Figura 15

Gráfico Q-Q (Quantile-Quantile)



Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación.

El gráfico Q-Q de normalidad muestra que la mayoría de los residuos del modelo de efectos fijos se alinean adecuadamente con la línea recta teórica, especialmente en la parte central de la distribución. No obstante, en los extremos se observan ligeras desviaciones, lo que indica la presencia de colas algo más pesadas. En general, estas discrepancias no son significativas, por lo que se puede concluir que el supuesto de normalidad de los residuos se cumple de manera aceptable para el modelo estimado.

f) Prueba De Heteroscedasticidad

H0: NO heteroscedasticidad = Homoscedasticidad (Varianza IGUAL en todas las regiones)

H1: Heteroscedasticidad (Varianza DIFERENTE entre regiones)

Figura 16

Test de Wald Modificado

```
. xttest3

Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (7) =          307.26
Prob > chi2 =          0.0000
```

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación.

Se aplicó la prueba de Wald modificada para detectar heterocedasticidad entre grupos en el modelo de efectos fijos. La hipótesis nula establece la homocedasticidad, es decir, que la varianza del término de error es constante entre todas las regiones, mientras que la hipótesis alternativa plantea la existencia de heterocedasticidad, con varianzas distintas entre regiones. Los resultados del test muestran un estadístico $\chi^2 = 307.26$ con un valor $p = 0.0000$, por lo que se rechaza la hipótesis nula al 5 % de significancia. En consecuencia, se concluye que el modelo presenta heterocedasticidad entre regiones, lo que indica que la variabilidad de los errores no es constante en el panel.

g) Prueba De Autocorrelación

H0: NO autocorrelación de primer orden (AR(1))

H1: Sí autocorrelación AR(1)

Figura 17

Prueba de Wooldridge

```
. xtserial ln_he ln_pbipc ln_pbipc2 aeduc ln_elec turb ln_pob mpamb

Wooldridge test for autocorrelation in panel data
H0: no first-order autocorrelation
    F( 1,      6) =      1.739
      Prob > F =      0.2354
```

Nota. Resultados extraídos del programa Stata.

Se aplicó la prueba de Wooldridge para detectar autocorrelación de primer orden (AR(1)) en el modelo de datos de panel. La hipótesis nula (H_0) establece que no existe autocorrelación de primer orden, mientras que la hipótesis alternativa (H_1) señala que sí existe autocorrelación.

Los resultados muestran un estadístico $F(1,6) = 1.739$ con una probabilidad asociada $\text{Prob} > F = 0.2354$. Dado que el valor p es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. En consecuencia, no existe evidencia estadísticamente significativa de autocorrelación de primer orden en el modelo. Esto indica que los errores no presentan correlación serial en el tiempo, por lo que no se estaría vulnerando este supuesto clásico del modelo de datos de panel.

h) Corrigiendo el Modelo de Efectos Fijos Robusto (Log-Log)

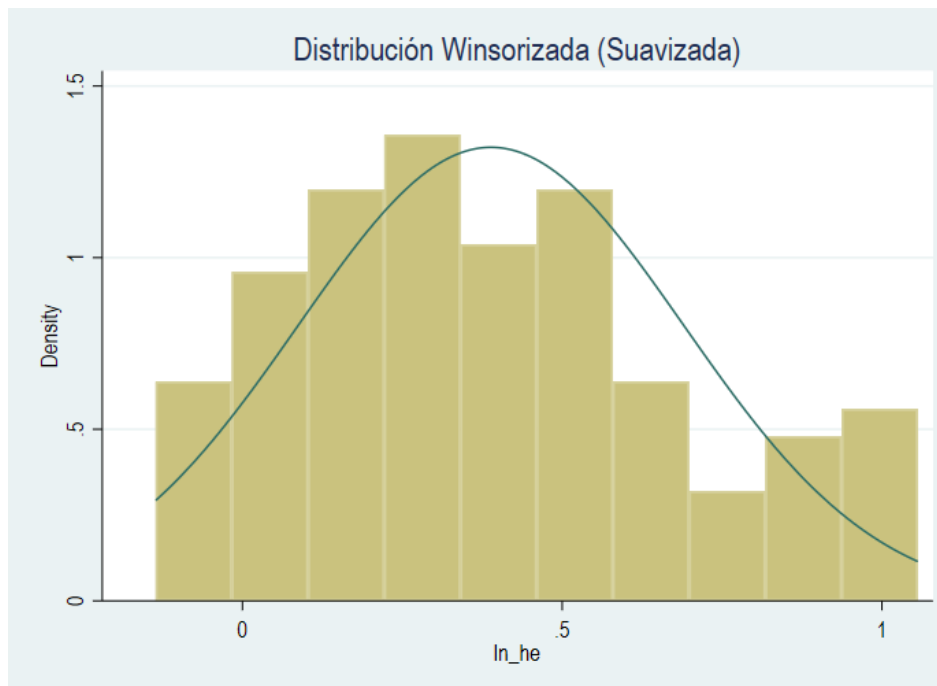
Tratamiento de Outliers

Con el objetivo de mejorar la robustez del modelo y reducir la influencia de valores extremos, se aplicó un proceso de winsorización a las variables numéricas (al 1% y 99%). Este

procedimiento permite limitar el efecto de outliers sin eliminar observaciones, favoreciendo una distribución más estable y adecuada para la estimación econométrica.

Figura 18

Distribución Winsorizada



Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación.

El histograma de la variable dependiente transformada ($\ln_he$) muestra una distribución más suavizada y relativamente simétrica tras la winsorización. Se observa una concentración importante de datos en el rango central y una reducción de valores extremos en los extremos de la distribución.

La curva de densidad sugiere una aproximación más cercana a la normalidad en comparación con la distribución original, lo que contribuye a mejorar el cumplimiento de los supuestos del modelo. En conjunto, la winsorización permitió atenuar la influencia de observaciones atípicas y fortalecer la consistencia de las estimaciones del modelo de efectos fijos robusto.

i) Estimación Final Robusta (Driskoll-Kraay con variables Winsorizadas)

Con el fin de obtener estimaciones más sólidas, se estimó el modelo de efectos fijos incorporando errores estándar robustos de Driscoll–Kraay y utilizando las variables previamente winsorizadas. Este enfoque permite corregir posibles problemas de no normalidad (parcialmente atenuada con la winsorización), heterocedasticidad, autocorrelación y dependencia transversal entre regiones. Además, se especificó un rezago máximo de orden 1 (lag(1)), considerado prudente dado el tamaño del panel (N=105 observaciones, aproximadamente 4–5 años por región).

Figura 19

Driskoll-Kraay con variables Winsorizadas

```
. xtsccln_he_wln_pbipc_wln_pbipc2_waeduc_wln_elec_wturb_wln_pob_wmpamb_w, fe lag(1)
```

Regression with Driscoll-Kraay standard errors Number of obs = 105
Method: Fixed-effects regression Number of groups = 7
Group variable (i): id_region F(7, 14) = 41.61
maximum lag: 1 Prob > F = 0.0000
within R-squared = 0.7115

ln_he_w	Drisc/Kraay		t	P> t	[95% Conf. Interval]	
	Coef.	Std. Err.				
ln_pbipc_w	2.338388	.5368579	4.36	0.001	1.186943	3.489834
ln_pbipc2_w	-.4248073	.1076479	-3.95	0.001	-.655689	-.1939255
aeduc_w	.0991616	.0271459	3.65	0.003	.0409393	.1573838
ln_elec_w	-.1430497	.0566017	-2.53	0.024	-.2644483	-.0216511
turb_w	.6939346	.2955209	2.35	0.034	.0601053	1.327764
ln_pob_w	1.15515	.2059119	5.61	0.000	.713513	1.596787
mpamb_w	.0012348	.0024487	0.50	0.622	-.0040172	.0064867
_cons	-18.48062	2.84978	-6.48	0.000	-24.59279	-12.36845

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación.

El modelo es globalmente significativo (Prob > F = 0.0000) y explica el 71% de la variación intra-regional de la huella ecológica (within R² = 0.7115). El PBI per cápita tiene un efecto

positivo y significativo, mientras que su término cuadrático es negativo y significativo, lo que confirma una relación no lineal consistente con la Curva Ambiental de Kuznets. Asimismo, la educación, la urbanización y la población incrementan significativamente la huella ecológica. En contraste, el consumo de electricidad muestra un efecto negativo significativo, y la variable mpamb_w no resulta estadísticamente significativa. En síntesis, el crecimiento económico y los factores estructurales influyen de manera importante en la presión ambiental regional.

i.1) Selección del Rezago Óptimo (Criterios AIC / BIC)

Se aplica rezagos en el modelo porque se asume que existe un efecto del pbi no solo contemporáneo sino también rezagado.

MODELO A: Sin rezagos (El que se tenía antes)

MODELO B: Con 1 rezago (Efecto del año anterior)

MODELO C: Con 2 rezagos (Efecto de hace 2 años)

COMPARACIÓN: ¿Cuál tiene el menor AIC/BIC?

Figura 20

Rezago Óptimo (Criterios AIC / BIC)

```
. estimates stats m_sin_rezagos m_rezago1 m_rezago2
```

Akaike's information criterion and Bayesian information criterion

Model	N	ll(null)	ll(model)	df	AIC	BIC
m_sin_reza~s	105	48.7728	114.0306	8	-212.0611	-190.8294
m_rezago1	98	50.32693	106.1393	9	-194.2786	-171.0139
m_rezago2	91	61.15529	131.3163	10	-242.6325	-217.5239

Note: BIC uses N = number of observations. See [\[R\] BIC note](#).

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación.

El modelo con dos rezagos del PBI per cápita (**m_rezago2**) presenta los valores más bajos de AIC (**-242.635**) y BIC (**-217.5239**), superando al modelo sin rezagos (**AIC = -212.0611, BIC = -190.8294**) y al modelo con un rezago (**AIC = -194.2786, BIC = -171.0139**). Esto indica que los efectos del PBI per cápita no son únicamente contemporáneos, sino que persisten hasta dos períodos atrás, confirmando la existencia de una dinámica temporal significativa en la relación entre el PBI per cápita y la huella ecológica.

Por tanto, se selecciona el modelo con dos rezagos como la especificación óptima, ya que presenta el mejor ajuste según los criterios de información AIC y BIC, permitiendo una representación más adecuada de la dinámica temporal en el análisis econométrico.

Sin embargo, según siguiendo el principio de parsimonia, se elige el modelo con 1 rezago (L1), por ello se procede a estimar el modelo final dinámico, con rezagos y corrección Driscoll-Kraay:

j) Estimación del Modelo (Parsimonioso)

Figura 21

Estimación del Modelo (Parsimonioso)

```
. xtsccln_he_w ln_pbipc_w ln_pbipc2_w L1.ln_pbipc_w aeduc_w ln_elec_w turb_w ln_pob_w mpamb_w, fe lag(1)
```

```
Regression with Driscoll-Kraay standard errors    Number of obs    =      98
Method: Fixed-effects regression                  Number of groups  =       7
Group variable (i): id_region                     F( 8, 13)        =    22.36
maximum lag: 1                                    Prob > F          =    0.0000
                                                within R-squared  =    0.6799
```

ln_he_w	Coef.	Drisc/Kraay Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
ln_pbipc_w	2.389444	.5602466	4.26	0.001	1.179105	3.599783
ln_pbipc2_w	-.4508512	.1234278	-3.65	0.003	-.7175008	-.1842017
ln_pbipc_w L1.	.1396448	.1032351	1.35	0.199	-.0833812	.3626707
aeduc_w	.0755461	.0414122	1.82	0.091	-.0139196	.1650118
ln_elec_w	-.1598237	.073674	-2.17	0.049	-.3189866	-.0006608
turb_w	.485825	.40972	1.19	0.257	-.3993211	1.370971
ln_pob_w	1.148875	.2251393	5.10	0.000	.662491	1.635259
mpamb_w	-.0002986	.0025583	-0.12	0.909	-.0058255	.0052283
_cons	-18.22765	2.935044	-6.21	0.000	-24.56843	-11.88687

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación.

La siguiente figura presenta los resultados de la estimación del modelo parsimonioso de efectos fijos con errores estándar robustos de Driscoll–Kraay, utilizado para analizar la relación entre crecimiento económico y degradación ambiental en la macrorregión centro del Perú. El modelo es globalmente significativo (Prob > F = 0.0000) y presenta un within R² de 0.6799, lo que indica que aproximadamente el 67.99 % de la variación intra-regional de la huella ecológica es explicada por las variables incluidas. El PBI per cápita (ln_pbipc_w) muestra un coeficiente positivo y estadísticamente significativo ($\beta = 2.3894$; $p = 0.001$), lo que indica que el crecimiento económico incrementa la degradación ambiental. En términos interpretativos, un aumento del 1 % en el PBI per cápita se asocia con un incremento aproximado de 2.39 % en la huella ecológica.

Por su parte, el término cuadrático del PBI per cápita ($\ln_pbipc2_w$) presenta un coeficiente negativo y significativo ($\beta = -0.4509$; $p = 0.003$), lo que evidencia una relación no lineal consistente con la Curva Ambiental de Kuznets, donde inicialmente el crecimiento económico aumenta la presión ambiental, pero a mayores niveles de ingreso esta tiende a reducirse.

Respecto a las variables de control, la población ($\ln_pob_w$) presenta un coeficiente positivo y altamente significativo ($p < 0.01$), indicando que el crecimiento poblacional incrementa la presión sobre el medio ambiente. En cambio, el consumo de energía eléctrica ($\ln_elec_w$) muestra un coeficiente negativo y significativo ($p < 0.05$). Por otro lado, las variables urbanización ($turb_w$), gasto ambiental público ($mpamb_w$) y el PBI per cápita rezagado ($L1.\ln_pbipc_w$) no resultan estadísticamente significativas, por lo que este último podría considerarse para su exclusión en una versión más parsimoniosa del modelo, previa contrastación con la literatura especializada.

Control de choque externo (Dummy pandemia 2020)

Para ello, se generó la variable binaria, la cual toma valor 1 si es el año 2020, y 0 para cualquier otro año, tal como se muestra:

Figura 22

Estimación del Modelo (Parsimonioso)

tab year d_covid

year	Efecto Pandemia (Dummy 2020)		Total
	0	1	
2009	7	0	7
2010	7	0	7
2011	7	0	7
2012	7	0	7
2013	7	0	7
2014	7	0	7
2015	7	0	7
2016	7	0	7
2017	7	0	7
2018	7	0	7
2019	7	0	7
2020	0	7	7
2021	7	0	7
2022	7	0	7
2023	7	0	7
Total	98	7	105

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación.

Figura 23

Estimación del Modelo con dummy pandemia 2020

```
. xtsc ln_he_w ln_pbipc_w ln_pbipc2_w L1.ln_pbipc_w aeduc_w ln_elec_w turb_w ln_pob_w mpamb_w d_covid, fe
```

```
Regression with Driscoll-Kraay standard errors   Number of obs   =       98
Method: Fixed-effects regression                 Number of groups =       7
Group variable (i): id_region                   F( 9, 13)       =    106.31
maximum lag: 2                                 Prob > F        =     0.0000
                                              within R-squared =    0.6820
```

ln_he_w	Drisc/Kraay		t	P> t	[95% Conf. Interval]	
	Coef.	Std. Err.				
ln_pbipc_w	2.417251	.5488985	4.40	0.001	1.231428	3.603074
ln_pbipc2_w	-.4670921	.1207354	-3.87	0.002	-.7279252	-.2062591
ln_pbipc_w L1.	.1648034	.1216274	1.35	0.199	-.0979566	.4275634
aeduc_w	.07898	.0376327	2.10	0.056	-.0023204	.1602804
ln_elec_w	-.1525837	.0710083	-2.15	0.051	-.3059878	.0008204
turb_w	.5280366	.3966006	1.33	0.206	-.3287668	1.38484
ln_pob_w	1.156157	.2274951	5.08	0.000	.6646836	1.64763
mpamb_w	-.0003364	.0024383	-0.14	0.892	-.005604	.0049312
d_covid	-.0306863	.0254133	-1.21	0.249	-.0855884	.0242158
_cons	-18.45382	3.007467	-6.14	0.000	-24.95106	-11.95658

Nota. Resultados obtenidos a partir de los datos de la investigación.

Se excluye la dummy relacionada a la COVID-19 y la primera diferencia, debido a que no son estadísticamente significativos. Asimismo, las otras variables de control como aeduc y elec, debido a que no presentan signos coherentes. De igual modo, se retiran las restantes variables de control no significativas, conservando únicamente la siguiente el siguiente modelo econométrico:

$$\begin{aligned}
 \text{Log}(HE)_{it} = & \alpha_{it} + \beta_1 * \text{Log}(PBI)_{1it} + \beta_2 * [\text{Log}(PBI)_{1it}]^2 + \beta_3 * \text{Log}(POB)_{1it} \\
 & + \beta_4 * TURB_{1it} + \mu_{it} + ei
 \end{aligned}$$



UNSCH

FACULTAD DE
CIENCIAS ECONOMICAS,
ADMINISTRATIVAS Y CONTABLES

DECANATO

TRANSCRIPCIÓN DE ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Ayacucho, el día 17 de junio de 2026 a las 11:15 a.m. horas, en el Auditorio de la Escuela Profesional de Economía de la Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables, se reunieron los miembros de la Comisión del Jurado Evaluador, conformado por los profesores: Econ. Narciso Marmanillo Pérez, Econ. Paul Villar Andia, Econ. Richard Atao Quispe (Asesor- jurado); bajo la presidencia del Dr. Pelayo Hilario Valenzuela, como Decano de la Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables, en el acto académico de la sustentación de tesis y actuando como secretaria docente Econ. Liz Marivel Arredondo Lezama.

La secretaria da lectura de la Resolución Decanal N° 209-2026-UNSCH-FCEAC-D, de fecha 15 de junio de 2026, el cual declara expedito a las bachilleres GERALDINE ERICKA CIPRIAN RODRIGUEZ Y BRENDA MILENE HUARCAYA CHUCHON para la sustentación de la tesis: **Crecimiento económico en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, 2009-2023.**; para optar el título profesional de Economista.

Acto seguido el presidente de los jurados invita a las sustentantes a dar inicio a la exposición de la mencionada tesis en un tiempo aproximado de cuarenta y cinco (45) minutos. Concluida la sustentación el presidente solicita a los miembros del jurado evaluador formular las preguntas y repreguntas necesarias para lo cual disponen de cuarenta y cinco (45) minutos, las mismas que fueron absueltas satisfactoriamente.

Concluida la sustentación, el presidente de los jurados invita a las sustentantes y público asistente abandonar el Auditorio con la finalidad de deliberar y emitir la calificación correspondiente, con el siguiente resultado:

Jurado 1	14
Jurado 2	14
Jurado 3	12
Jurado 4	14

Resultando aprobadas por unanimidad con el calificativo de CATORCE (14)

Siendo las 01:00 p.m. horas del mismo día, se dio por concluido el acto académico y en fe de lo actuado firman al pie del presente los profesores: Dr. Pelayo Hilario Valenzuela (presidente), Econ. Narciso Marmanillo Perez, Econ. Paul Villar Andía, Econ. Richard Atao Quispe (Asesor- jurado) y como secretaria docente Econ. Liz Marivel Arredondo Lezama.

Libro N° 05, con folio N° 018

Ayacucho, 24 de julio del 2026


.....
Prof. Sixto Susano Pretel Eslava
Secretario Docente



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD CON DEPÓSITO

N° 014-2026-EPE/FCEAC/UNSC.

1. Apellidos y nombres del investigador:

- ✓ CIPRIAN RODRIGUEZ, Geraldine Ericka
- ✓ HUARCAYA CHUCHON, Brenda Milene

2. Escuela Profesional: Economía**3. Facultad:** Ciencias Económicas, Administrativas y Contables**4. Tipo de trabajo académico evaluado:** Tesis.**5. Título del trabajo de investigación:**

Crecimiento económico en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, 2009 – 2023.

6. Software de similitud: TURNITIN**7. Fecha de recepción:** 14-07-2026**8. Fecha de evaluación:** 17-07-2026**9. Evaluación de originalidad.**

Porcentaje de similitud	Resultado
• 13%	** APROBADO

- Consignar el porcentaje de similitud.

** Consignar **APROBADO** si se encuentra dentro del rango de porcentaje establecido, subsanar las observaciones o **DESAPROBADO** si se excede el porcentaje permisible de similitud.

Ayacucho, 17 de julio de 2026

Mg. Ruly Valenzuela Pariona
Docente-Instructor

Crecimiento económico en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, 2009 – 2023.

por Geraldine Ericka Ciprian Rodriguez y Brenda Milene Huarcaya Chuchon

Fecha de entrega: 17-jul-2026 09:38a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2999289982

Nombre del archivo: Geraldine_Ericka_Ciprian_Rodriguez_y_Brenda_Milene_Huarcaya_Chuchon.docx (1.16M)

Total de palabras: 37300

Total de caracteres: 212895

Crecimiento económico en la degradación ambiental en la macroregión centro del Perú, 2009 – 2023.

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net	Fuente de Internet	1%
2	dspace.unl.edu.ec	Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unac.edu.pe	Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unjfsc.edu.pe	Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unsch.edu.pe	Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unsaac.edu.pe	Fuente de Internet	1%
7	revistas.uazuay.edu.ec	Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.uncp.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
9	cdn.www.gob.pe	Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.upsc.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
11	doku.pub	Fuente de Internet	<1%
12	repositorio.unp.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
13	repositorio.unprg.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
14	Submitted to Universidad de Guayaquil	Trabajo del estudiante	<1%

dspace.ucuenca.edu.ec

15	Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Nacional de Ingenieria Trabajo del estudiante	<1 %
17	Submitted to University of the Andes Trabajo del estudiante	<1 %
18	Submitted to Universidad Nacional Agraria la Molina Trabajo del estudiante	<1 %
19	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	Jorge Alberto Vargas-Merino, Ivan Dazir Berleine Vivanco Aquino. "Social innovation and sustainability competencies. Multivariate evidence using PLS-SEM in the context of higher education", Social Sciences & Humanities Open, 2026 Publicación	<1 %
21	repositorio.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	www19.uniovi.es Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
24	www.scielo.sa.cr Fuente de Internet	<1 %
25	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
26	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	<1 %
27	"Estudios regionales: análisis y propuestas de desarrollo económico y social", Universidad del Pacifico, 2021 Publicación	<1 %
28	rnee.umich.mx Fuente de Internet	<1 %
29	Submitted to Universidad Carlos III de Madrid - EUR Trabajo del estudiante	<1 %
30	Submitted to Sello Editorial Trabajo del estudiante	<1 %

31	Vračarević, Bojan R.. "Održivi Urbani Razvoj i Determinante Potrošnje Energije u Saobraćaju Gradova: Teorijsko-Empirijska Analiza", University of Belgrade (Serbia), 2024 Publicación	<1 %
32	Submitted to Instituto Superior de Formacion Docente Salomé Urenq Trabajo del estudiante	<1 %
33	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
34	Mamani Machaca, Hector Mario. "Estructura y dinamica del sistema urbano de Peru, 1961-2005", El Colegio de Mexico, 2022 Publicación	<1 %
35	zagan.unizar.es Fuente de Internet	<1 %
36	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
37	tesisdigitales.umich.mx Fuente de Internet	<1 %
38	Rumaja Alvitez, Alejandro. "Estimación de la huella ecológica Perú - 2017", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1 %
39	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
40	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
41	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
42	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
43	Submitted to Universidad Nacional de Piura Trabajo del estudiante	<1 %
44	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
45	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
46	Submitted to Universidad de Cantabria Trabajo del estudiante	<1 %

47	documentop.com	Fuente de Internet	<1 %
48	idus.us.es	Fuente de Internet	<1 %
49	repositorio.continental.edu.pe	Fuente de Internet	<1 %
50	www.researchgate.net	Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 30 words
Excluir bibliografía	Activo		