



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de Integración
Curricular previa la obtención
del Grado Académico de
Ingeniera Ambiental

Proyecto de Investigación:

**“APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN IPAT PARA LA PROYECCIÓN DEL
IMPACTO AMBIENTAL EN EL CANTÓN QUINSALOMA, PROVINCIA LOS
RÍOS-ECUADOR”**

Autora:

Luisana Esther Yepez Cando

Director de Proyecto de Investigación:

Ing. Yomber José Montilla López MSc.

Quevedo – Los Ríos – Ecuador

2024



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **LUISANA ESTHER YEPEZ CANDO**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

LUISANA ESTHER YEPEZ CANDO

C.C. 1205803164



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. Yomber José Montilla López MSc.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante **Luisana Esther Yopez Cando**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**Aplicación de la Ecuación IPAT para la Proyección del Impacto Ambiental en el Cantón Quinsaloma, Provincia Los Ríos-Ecuador**”, previo a la obtención del título de **Ingeniera ambiental**, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Yomber José Montilla López MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



CERTIFICACIÓN DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

El suscrito, Ing. Yomber José Montilla López MSc., mediante el presente cumpla en presentar a usted, el informe de proyecto de Investigación “Aplicación de la Ecuación IPAT para la Proyección del Impacto Ambiental en el Cantón Quinsaloma, Provincia Los Ríos-Ecuador”. Presentado por la estudiante **Luisana Esther Yopez Cando** egresada de la Carrera de Ingeniería Ambiental, que fue revisado bajo mi dirección según resolución del Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, que se ha desarrollado de acuerdo al Reglamento de la Unidad de Integración Curricular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y cumple con el requerimiento de análisis COPILATIO el cual avala los niveles de originalidad en un 97 % y similitud 3%, del trabajo investigativo. Valido este documento para que el estudiante siga con los trámites pertinentes, de acuerdo como lo estable el Reglamento.

Se adjunta imagen del sistema COMPILATIO

CERTIFICADO DE ANÁLISIS iMagister		
Tesis-Final-LUISANA (1)		
3% Textos sospechosos		3% Similitudes • 1% similitudes entre documentos • 1% entre las fuentes mencionadas • 1% idiomas no reconocidos
Nombre del documento: Tesis-Final-LUISANA (1).docx ID del documento: 8075248a5d222ebd347530a4a636e61a0c5820 Tamaño del documento original: 2.4 MB	Depositante: YOMBER JOSE MONTILLA LOPEZ Fecha de depósito: 11/3/2024 Tipo de carga: interface Fecha de fin de análisis: 11/3/2024	Número de palabras: 27.421 Número de caracteres: 298.272
Ubicación de las similitudes en el documento: 		

Ing. Yomber José Montilla López MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Aplicación de la ecuación IPAT para la proyección del impacto ambiental en el Cantón Quinsaloma, Provincia Los Ríos-Ecuador”

Presentado al Consejo Directivo de Facultad como requisito previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental.

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Mariela Alexi Díaz Ponce MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Roberto Johan Barragán

Monrroy MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Angelita Leonor Bósquez

Mestanza MSc.

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2024

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo expresar mi profundo agradecimiento a Dios por concederme salud, por guiar cada paso en mi vida y por brindarme la fortaleza necesaria para completar mis estudios.

Querido abuelito, aunque ya no estés físicamente, quiero expresar mi más profundo agradecimiento por todo lo que hiciste por mí durante tu vida por creer en mí por impulsarme a seguir con mis estudios, tenías razón, si lo logre. Tus enseñanzas, sabiduría y amor incondicional han dejado una huella imborrable en mi corazón. Siempre te llevaré conmigo en mi memoria, sé que tu amor y tu legado perdurarán por siempre.

Quisiera reconocer el inquebrantable apoyo de mis padres, Angelita y Franklin, quienes han sido fundamentales en mi formación al educarme con sólidos valores y principios. Su constante cuidado y respaldo han sido pilares esenciales que me han impulsado en mi carrera. ¡Los amo infinitamente!

A mis amados hijos Jadiel y Luciana, así como a mi querido esposo David, quiero expresarles mi agradecimiento por ser mi mayor fuente de inspiración y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida. Agradezco vuestra comprensión, paciencia y el constante estímulo para alcanzar mis sueños. Sin ustedes, nada de esto sería posible. Los amo con todo mi ser y estoy eternamente agradecida por tenerlos en mi vida.

Agradezco también a mis amigas María Fernanda, Merly y Maricruz por el invaluable apoyo brindado a lo largo de mi travesía académica. Juntas hemos compartido risas, lágrimas, frustraciones y momentos memorables.

Expreso mi gratitud a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo por brindarme la oportunidad de crecer como persona y por ofrecerme una educación de calidad. Asimismo, quiero reconocer el invaluable aporte de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y de los docentes, quienes con su continua motivación, paciencia y valiosas enseñanzas han sido parte fundamental de mi desarrollo académico.

Por último, mi más sincero agradecimiento al Ingeniero Yomber Montilla, cuya ayuda, apoyo y motivación fueron cruciales durante el desarrollo de mi tesis. Su contribución fue fundamental para alcanzar este importante logro académico.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación en primer lugar, a Dios, quien me ha otorgado la fuerza, sabiduría para seguir adelante, incluso en los momentos más desalentadores.

Con profundo amor y gratitud dedico este trabajo a la memoria de mi querido abuelito. Tu influencia y presencia fueron fundamentales en mi vida, y este logro académico es también un tributo a tu legado. Que este trabajo sea un homenaje a tu vida y a todo lo que representaste para mí. Te extraño y te amare siempre, abuelito.

A mis queridos padres y hermano, cuyo amor incondicional, apoyo incansable y sabios consejos han sido mi ancla durante este arduo viaje académico.

A mis hijos, fuente inagotable de inspiración y motivación, impulsándome a superarme cada día más.

A mi esposo, compañero de vida y confidente, por estar siempre a mi lado, creer en mí y respaldar cada una de mis decisiones.

A mí misma, como recordatorio de mi capacidad para superar incluso los momentos más difíciles y alcanzar el éxito, avanzando con determinación hacia el futuro.

Luisana Esther Yépez Cando

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES

La expansión demográfica a nivel mundial ha ejercido una creciente presión sobre los recursos naturales y ha exacerbado problemas ambientales críticos, como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad. Este fenómeno no es ajeno a América Latina, donde el crecimiento poblacional tiene un impacto directo en diversos aspectos ambientales. En Ecuador, las proyecciones demográficas indican un aumento significativo de la población, lo que aumenta la demanda sobre los recursos naturales. El Cantón Quinsaloma, situado en la Provincia de Los Ríos, no escapa a esta realidad, ya que su crecimiento está impulsado por actividades agrícolas y urbanas, lo que ha resultado en un notable incremento en la huella ecológica. Para abordar esta problemática, se propone modelar el impacto ambiental utilizando la ecuación IPAT. El análisis realizado mediante modelos Logísticos y de Gompertz ha resaltado una tendencia de crecimiento poblacional que incide directamente en la huella ecológica, con proyecciones que indican un aumento continuado en el corto, mediano y largo plazo. No obstante, se ha observado una discrepancia entre la población actual y las proyecciones de los modelos. Posteriormente, se compararán estos resultados a nivel nacional y con diversas regiones del mundo, utilizando bases de datos macroeconómicas y el Banco Mundial para contextualizar el estudio y comprender su potencial impacto. Además, se analizarán las emisiones de CO₂ y la huella ecológica en Ecuador, así como en otras partes del mundo, con el fin de obtener una visión global del impacto ambiental del Cantón Quinsaloma en comparación con otras regiones. En última instancia, este estudio tiene como objetivo contribuir al cumplimiento del objetivo de producción y consumo responsables establecido en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, abordando de manera proactiva los desafíos ambientales del Cantón Quinsaloma.

Palabras claves: Crecimiento demográfico, huella ecológica, modelo Logístico, modelo Gompertz, sostenibilidad.

ABSTRACT AND KEYWORDS

Global population growth has put increasing pressure on natural resources and exacerbated critical environmental problems, such as climate change and biodiversity loss. This phenomenon is not foreign to Latin America, where population growth has a direct impact on various environmental aspects. In Ecuador, population projections indicate a significant increase in population, which increases the demand on natural resources. Cantón Quinsaloma, located in the Province of Los Ríos, does not escape this reality, since its growth is driven by agricultural and urban activities, which has resulted in a significant increase in the ecological footprint. To address this problem, it is proposed to model the environmental impact using the IPAT equation. Analysis using Logistic and Gompertz models has highlighted a population growth trend that directly impacts the ecological footprint, with projections indicating a continued increase in the short, medium and long term. However, a discrepancy has been observed between the current population and the models' projections. Subsequently, these results will be compared at the national level and with various regions of the world, using macroeconomic databases and the World Bank to contextualize the study and understand its potential impact. In addition, CO₂ emissions and the ecological footprint in Ecuador, as well as in other parts of the world, will be analyzed in order to obtain a global view of the environmental impact of Cantón Quinsaloma compared to other regions. Ultimately, this study aims to contribute to the fulfillment of the goal of responsible production and consumption established in the 2030 Agenda for Sustainable Development, proactively addressing the environmental challenges of Cantón Quinsaloma.

Keywords: Population growth, ecological footprint, Logistic model, Gompertz model, sustainability.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	Error! Bookmark not defined.
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	Error! Bookmark not defined.
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	vii
RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES	viii
ABSTRACT AND KEYWORDS	ix
TABLA DE CONTENIDO	x
CÓDIGO DUBLIN	xvi
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de Investigación	4
1.1.1. Planteamiento del problema	4
1.1.2. Formulación del problema	6
1.2.3. Sistematización del problema	6
1.2. Objetivos	6
1.2.1. Objetivo General	6
1.2.2. Objetivos Específicos	6
1.3. Justificación	6
CAPITULO II	8
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	8
2.1. MARCO CONCEPTUAL	9
2.1.1. Población	9
2.1.2. Demografía	9
2.1.3. Ecuación IPAT	9
2.1.4. Modelo de crecimiento demográfico: Modelo Logístico	10

2.1.5.	Modelo de crecimiento demográfico: Modelo de Gompertz	10
2.1.6.	Huella ecológica	11
2.1.7.	Déficit ecológico.....	11
2.1.8.	Capacidad de regeneración de la biosfera.....	12
2.2.	MARCO REFERENCIAL	12
CAPITULO III.....		16
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		16
3.1.	Metodología de la Investigación.....	17
3.1.1.	Localización.....	17
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	18
3.2.1.	Documentada.....	18
3.2.2.	Diagnóstica.....	18
3.2.3.	Campo	18
3.3.	MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
3.3.1.	Método cuantitativo	19
3.3.2.	Método cualitativo	19
3.3.3.	Método inductivo.....	19
3.3.4.	Método descriptivo	19
3.4.	FUENTES DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	19
3.4.1.	Fuentes primarias.....	19
3.4.2.	Fuentes secundarias	20
3.5.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	20
3.5.1.	OE1: Simular el crecimiento de la población del cantón Quinsaloma bajo diferentes enfoques asintóticos.....	20
3.5.1.1.	Bases de datos de población	20
3.5.1.2.	Tratamiento de datos y construcción del modelo.....	21
3.5.2.	OE2: Proyectar el impacto ambiental de la población urbana en el cantón Quinsaloma.....	26

3.5.2.1.	Ecuación IPAT	27
3.5.2.2.	Calculadora de huella ecológica Global Footprint Network	28
3.5.2.3.	Población y muestra	29
3.5.2.4.	Extrapolación del impacto ambiental	31
3.5.3.	OE 3: Comparar el impacto ambiental proyectado de la población del Cantón Quinsaloma a nivel nacional y con algunas regiones a nivel mundial.	32
3.5.3.1.	Emisiones CO ₂ de Ecuador: base de datos Expansión/Datosmacro	32
3.6.	INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	34
3.7.	Tratamiento de datos.....	34
3.8.	Recursos humanos y materiales.....	34
3.8.1.	Recursos humanos	34
3.8.2.	Materiales	35
3.8.2.1.	Materiales tecnológicos	35
3.8.2.2.	Softwares	35
4.1.	Resultados	37
4.1.1.	OE 1: Simular el crecimiento de la población del cantón Quinsaloma bajo diferentes enfoques asintóticos.	37
4.1.2.	OE 2: Proyectar el impacto ambiental de la población en el cantón Quinsaloma. 41	
4.1.3.	OE 3: Comparar el impacto ambiental proyectado de la población del Cantón Quinsaloma a nivel nacional y con algunas regiones a nivel mundial.	47
4.2.	Discusión de resultados.....	51
	CAPÍTULO V	53
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
5.1.	Conclusiones.....	54
5.2.	Recomendaciones	56
	CAPÍTULO VI.....	58
	BIBLIOGRAFÍA.....	58

6.1. Bibliografía	59
-------------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del cantón Quinsaloma.....	17
Figura 2. Pasos en Maple 18 para el tratamiento de datos.	23
Figura 3. Pasos en Maple 18 para el ajuste de un modelo.	24
Figura 4. Plataforma de Global Footprint Network.....	28
Figura 5. Datos Estadísticos de Población INEC.	30
Figura 6. Expansión/Datosmacro, Emisiones de CO ₂	32
Figura 7. Emisiones Globales de CO ₂	33
Figura 8. Modelo de ajuste Logístico.	38
Figura 9. Simulación de la población máxima sostenible del Modelo Logístico.....	39
Figura 10. Modelo de ajuste Gompertz.....	40
Figura 11. Simulación de la población máxima sostenible del Modelo Gompertz.	41
Figura 12. Modelos lineales del aumento de la huella ecológica.	42
Figura 13. Modelos lineales del aumento de carbono.....	43
Figura 14. Proyección del modelo Logístico para el impacto ambiental máximo en el . Cantón Quinsaloma.....	45
Figura 15. Proyección del modelo de Gompertz para el impacto ambiental máximo en el Cantón Quinsaloma.....	46
Figura 16. Contexto mundial de las emisiones (MtCO ₂ -eq).....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Población del cantón Quinsaloma.	21
Tabla 2 . Ajustes de escala de la población.	22
Tabla 3. Modelos Asintóticos Demográficos.	24
Tabla 4. Registro de huella ecológica de los habitantes del cantón Quinsaloma.	29
Tabla 5. Fórmula estadística para el cálculo de muestra representativa.	30
Tabla 6. Registro de huella ecológica de los habitantes del cantón Quinsaloma.	42
Tabla 7. Estimación de (gha) por persona y factor de tecnología en toneladas de CO ₂ equivalente por año.	43
Tabla 8. Comparación de las proyecciones del modelo logístico con el modelo de Gompertz.	47
Tabla 9. Emisiones de CO ₂ por habitante a nivel nacional.	48
Tabla 10. Emisiones de CO ₂ por habitante a nivel mundial.	48

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Modelo de la ecuación IPAT	9
Ecuación 2. Modelo de crecimiento Logístico	10
Ecuación 3. Modelo de crecimiento Gompertz.	10
Ecuación 4. Errores medios cuadráticos: Suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los valores teóricos.	25
Ecuación 5. Varianza: Suma del cuadrado de desviación de datos respecto al promedio.	25
Ecuación 6. Tasa de crecimiento relativo.....	26
Ecuación 7. Eficacia del ajuste.	27
Ecuación 8. Factor de emisión de tecnología.	27
Ecuación 9. Ajuste lineal para la huella ecológica por habitantes.	31
Ecuación 10. Ajuste lineal para la emisión de carbono por habitantes.	31
Ecuación 11. Ajuste lineal del impacto ambiental total.	32

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Preguntas del calculador de Huella Ecológica Global Footprint Network.	66
Anexo 2. Porcentajes de consumo proporcionados por el calculador de huella ecológica “Global Footprint Network”.	68
Anexo 3. Actividades realizadas en la ejecución del proyecto de titulación	73

CÓDIGO DUBLIN

Título:	Aplicación de la ecuación IPAT para la proyección del impacto ambiental en el Cantón Quinsaloma, Provincia Los Ríos-Ecuador.
Autor:	Yepez Cando Luisana Esther
Palabras claves:	Crecimiento demográfico, huella ecológica, modelo Logístico, modelo Gompertz, sostenibilidad.
Fecha de publicación:	Mayo, 2024
Editorial:	Quevedo- UTEQ “La María”, 2024
Resumen: Abstract:	La expansión demográfica a nivel mundial ha ejercido una creciente presión sobre los recursos naturales y ha exacerbado problemas ambientales críticos, como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad. Este fenómeno no es ajeno a América Latina, donde el crecimiento poblacional tiene un impacto directo en diversos aspectos ambientales. En Ecuador, las proyecciones demográficas indican un aumento significativo de la población, lo que aumenta la demanda sobre los recursos naturales (...). Global population growth has put increasing pressure on natural resources and exacerbated critical environmental problems, such as climate change and biodiversity loss. This phenomenon is not foreign to Latin America, where population growth has a direct impact on various environmental aspects. In Ecuador, population projections indicate a significant increase in population, which increases the demand on natural resources (...).
Descripción:	90 hojas: dimensiones, 29 x 21 cm + CD-ROM 616
URI:	

INTRODUCCIÓN

La población mundial ha estado en constante aumento durante los últimos siglos, lo que ha llevado a un incremento en la demanda de recursos naturales y ha generado una serie de problemas ambientales, cómo: el cambio climático, la deforestación y la pérdida de biodiversidad (Yip et al., 2021). En América Latina, el tamaño y el crecimiento de la población influyen directamente en la situación de la economía, la política, la cultura, la educación y los costes de los recursos naturales (Anggreini et al., 2019).

Particularmente, el crecimiento demográfico en Ecuador ha sido variable a lo largo de los años. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en el año 2020, la población ecuatoriana alcanzó los 17.5 millones de habitantes, lo que representa un crecimiento del 1.4% con respecto al año anterior. Actualmente, en base a proyecciones hay una población con más de 18 millones de habitantes, se estima que para el año 2030 la población haya alcanzado 19.396893 habitantes y que su tasa de crecimiento sea de 1.56 % (INEC, 2010). En este sentido se resalta que cuando la población crece, aumenta la demanda de recursos naturales y la generación de residuos. Esto implica una mayor extracción de materias primas, más energía consumida, mayor producción de alimentos y más espacio habitable, lo que a su vez incrementa la huella ecológica. Si este crecimiento poblacional no se gestiona de manera sostenible, puede llevar a un agotamiento de los recursos naturales, una mayor contaminación y una degradación del medio ambiente. Por consiguiente, una forma de estimar el impacto ambiental ocasionado por la proporcionalidad de la población con la huella ecológica es mediante la ecuación IPAT, propuesta por Barry Commoner, biólogo, profesor universitario y político estadounidense, y sus colegas, Paul R. Ehrlich y John Holdren, en la década de los 70 (Ness, 1998).

En consecuencia, el cantón Quinsaloma no se encuentra lejos de la realidad del crecimiento poblacional, en base al Plan de Ordenamiento Territorial la población del año 2010 fue de 17.021, mientras que la población actual es de 19.470 habitantes (PDOT, 2020). La tendencia de aumento de la población del Cantón es inevitable y parte de ello se debe a que en los últimos años se ha visto impulsado por el desarrollo de actividades agrícolas, agroindustriales y desarrollo urbano. No obstante, este crecimiento ha propiciado un incremento de la huella ecológica de acuerdo al modelo de la ecuación IPAT y a la relación directa entre población y huella ecológica. Es por ello que el presente estudio tiene como objetivo principal modelar

mediante la ecuación IPAT el impacto ambiental en el Cantón Quinsaloma, Provincia de Los Ríos. Seguido se busca proponer estrategias de sostenibilidad que controlen la huella ecológica donde el consumo de los recursos no exceda del que dispone anualmente todo Cantón. Es decir, el logro de una comunidad sostenible. El proyecto busca contribuir con el objetivo 12 (Producción y consumo responsable), del Plan de Creación de Oportunidades en conjunto con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible para el mundo (Naciones Unidas, 2022).

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de Investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

De acuerdo al programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente, uno de los problemas existentes y emergente es el “crecimiento de la población”. Este consenso parte del hecho de que a lo largo de los años el crecimiento de la población mundial pasó de tener una tendencia lineal a una tendencia exponencial (Zimmerman et al., 2011). Los modelos matemáticos estipulan que la tasa de crecimiento es proporcional a la cantidad de población presente (Zill, 2015), esto implica que a medida que pasa el tiempo la cantidad de personas se va incrementando de forma acelerada conllevando a un aumento desmesurado de la huella ecológica por la proporcionalidad de las variables. Esto ha conllevado a que diversas regiones del mundo el consumo de recursos naturales ha superado los límites de los que dispone y produce de forma natural anualmente el ecosistema, cayendo en un déficit ecológico, es decir la “demanda supera a la oferta”. En este orden de ideas se resalta la publicación de la Revista National Geographic de que, según el informe de 2022 (que surge de los datos de 2018) la humanidad necesitaría utilizar los recursos de 1.75 Tierras para satisfacer sus demandas. Sin embargo, esta cifra cambia si la analizamos a través de la huella ecológica por persona de cada país y la dividimos por la biocapacidad media, que se sitúa en 1.6 hectáreas globales por persona (National Geographic, 2023).

En relación a lo anterior se tiene que Ecuador a pesar de su abundancia reserva natural llegará al exceso de consumo ha mediado de los meses de noviembre y diciembre del presente año (2023), es decir ya el país se empieza a comprometer los recursos disponibles previstos para el futuro. Los expertos advierten de que las consecuencias de sobreexplotar los ecosistemas empiezan a ser más frecuentes en nuestra vida cotidiana, y se manifiestan en forma de incendios, deforestaciones, aumento de emisiones de gases de efecto invernadero y pérdida de la biodiversidad (National Geographic, 2023). De los comentarios anteriores se concluye que si no se toman acciones rápidas y efectivas Ecuador puede llegar a los países donde el déficit ecológico se adelanta de forma prematura. En este sentido, enfocando la atención en la región de interés, el cantón Quinsaloma de la Provincia Los Ríos se presenta el siguiente caso: Si todo el mundo viviera como los quinsalomeños, ¿Cuántas tierras se necesitaría para cubrir sus demandas? De aquí la necesidad de hacer un estudio del impacto ambiental de la región a partir de la simulación del crecimiento demográfico y cálculo de huella ecológica de la región. En función de modelado elaborar propuestas de prácticas ambientales sostenibles que

permitan controlar el incremento de huella ecológica para no alcanzar un déficit ecológico.

Diagnóstico

La evaluación del tamaño de la población en el Cantón Quinsaloma reveló que para el año 2010 el cantón constaba de 17.021 habitantes, mientras que la proyección realizada para el año 2020 fue de 20.428, de esta manera se estima que para el año 2030 la población sobrepase los 28.000 habitantes. Estas cifras demuestran la presión sobre los recursos naturales, es probable que haya un aumento en la demanda de recursos naturales y energía, lo que podría resultar en un mayor impacto ambiental.

Ante lo expuesto, el Cantón Quinsaloma enfrenta importantes desafíos ambientales, puesto que con el aumento de la población también incrementa la contaminación del agua, deforestación, pérdida de biodiversidad, contaminación atmosférica, consumo de energía, aumento de desechos plásticos, entre otros., esto conlleva a la generación de grandes volúmenes de basura y considerablemente a aumentar la huella ecológica local y mundial, reduciéndose la disponibilidad de los recursos naturales existentes en el cantón.

Pronóstico

La investigación busca prever cómo el crecimiento de la población influirá en la huella ecológica de la región. Se espera un aumento del impacto ambiental a medida que la población crezca, resultando en un incremento de la demanda de recursos naturales, como alimentos, agua y energía. Esto podría llevar a una mayor deforestación, agotamiento del ecosistema, contaminación del aire, agua, y pérdida de biodiversidad. Además, el aumento de la urbanización y la expansión de las áreas residenciales podrían presionar aún más los hábitats naturales y los espacios verdes. Sin embargo, también existe la posibilidad de que el crecimiento poblacional estimule la conciencia ambiental y la adopción de prácticas más sostenibles. Puesto que, a medida que aumente la presión sobre los recursos naturales, es probable que las políticas y medidas de conservación se vuelvan más urgentes y necesarias. Esto podría conducir a la implementación de soluciones innovadoras, como el desarrollo de tecnologías limpias, la promoción de la energía renovable y la adopción de prácticas agrícolas entre otras, para promover la sostenibilidad y ayudar a evitar un déficit ecológico, manteniendo un equilibrio saludable entre el crecimiento poblacional y la capacidad del entorno.

1.1.2. Formulación del problema

¿Por qué es necesario modelar el Impacto Ambiental en el cantón Quinsaloma?

1.2.3. Sistematización del problema

¿Cuál es la tasa de crecimiento y la población máxima sostenible del cantón Quinsaloma bajo los enfoques asintóticos?

¿Cómo se proyecta el impacto ambiental en el cantón Quinsaloma utilizando el modelo IPAT?

¿Qué porcentaje del impacto ambiental del cantón Quinsaloma representa a nivel nacional y cómo se compara este porcentaje a nivel mundial?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Modelar mediante la ecuación IPAT el impacto ambiental en el Cantón Quinsaloma, Provincia de Los Ríos.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Simular el crecimiento de la población del cantón Quinsaloma bajo diferentes enfoques asintóticos.
- Proyectar el impacto ambiental de la población en el cantón Quinsaloma.
- Comparar el impacto ambiental proyectado de la población del Cantón Quinsaloma a nivel nacional y con algunas regiones a nivel mundial.

1.3. Justificación

En la actualidad Ecuador, tiene una población de 18 millones de habitantes, se tienen un IDH (Índice de Desarrollo humano de 0.71), una Huella Ecológica de 1.73 hag y la Biocapacidad mundial por persona de 1.72 hag, resultado de esta interrelación Ecuador apunta a alcanzar la meta del desarrollo sustentable (Presidencia de la República del Ecuador, 2023) . El logro de este desarrollo sustentable es tarea de todos y de aquí la importancia de esta investigación en contribuir en primer lugar con la estimación de impacto ambiental partiendo de la simulación del incremento poblacional y de estimación de la huella ecológica urbana en el cantón

Quinsaloma a corto, mediano y a largo plazo.

Por otro lado, partiendo de los resultados tener un indicador numérico de que si el cantón de estudio tiene o no un déficit ecológico. De no tenerlo proponer prácticas ambientales para contenerlo a pesar del incremento demográfico y urbano de la región. Ahora en caso de tenerlo que acciones inmediatas deben tomarse desde la colectividad para su reducción y buscar la sostenibilidad. La importancia de la aplicación de modelos matemáticos como la ecuación IPAT en cantón Quinsaloma, nos ayuda a identificar los factores que contribuyen al impacto ambiental en la región. Al desglosar el impacto en componentes relacionados con la población, la actividad económica y la tecnología, se puede comprender mejor qué aspectos específicos necesitan ser abordados para mitigar dicho impacto. Es así como puede ser una herramienta valiosa para educar a la sociedad sobre cómo nuestras actividades cotidianas, la tecnología que utilizamos y el crecimiento de la población pueden afectar el medio ambiente. Ayuda a crear conciencia sobre la necesidad de cambios en el comportamiento y en la forma en que utilizamos los recursos naturales.

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Población

Se refiere comúnmente a la agrupación de personas que conforman una comunidad o que residen en un área geográfica específica. Esta expresión es utilizada con frecuencia en campos como la demografía, la ecología y la estadística (Westreicher, 2022).

2.1.2. Demografía

Es una ciencia encargada de analizar, de forma estadística, diferentes aspectos de las poblaciones humanas. Entre ellos se encuentran su tamaño, composición, cambios a lo largo del tiempo y características generales. Además, también estudia los procesos específicos que influyen en la formación, mantenimiento o desaparición de dichas poblaciones. (Hayes, 2022).

2.1.3. Ecuación IPAT

Según Cendra Garreta & Stahel (2007), la ecuación IPAT nos permite estimar el impacto ambiental (I), en base al producto de los tres factores variables: población (P) produce ese impacto, consumo (C) de bienes y servicios que realiza para satisfacer sus necesidades y, el impacto ambiental de la tecnología (T) puede usarse para producir esos bienes y servicios (también conocido como eficiencia tecnológica). Por lo tanto, el nombre de la ecuación es IPAT (algunos autores también la llaman IPRT, donde R significa consumo de recursos o riqueza, ya que en el texto original en inglés es IPAT, con A de affluence):

Ecuación 1

Modelo de la ecuación IPAT.

$$I = P \cdot A \cdot T \quad (1)$$

Donde:

I: Impacto ambiental

P: Población

A: Afluencia per cápita

T: Tecnología.

2.1.4. Modelo de crecimiento demográfico: Modelo Logístico

El modelo de crecimiento logístico (o de Verhulst), explica que a mayor población (P) es menor la tasa de crecimiento, inicialmente, la población crece rápido, por lo que es una fuente de presión constante, y pierde su capacidad de crecer al volverse muy numerosa, debido a interacciones entre los miembros de la población lo que da como resultado un estado de equilibrio (Grande Vidal, 2010).

Ecuación 2

Modelo de crecimiento Logístico.

$$P(t) = \frac{L}{1 + [(L - P_0)/P_0]e^{-kt}} \quad (2)$$

Donde:

P: Población

L: Población máxima sostenible

Po: Población inicial

k: Tasa de crecimiento (habitante x año)

t: Tiempo.

2.1.5. Modelo de crecimiento demográfico: Modelo de Gompertz

El modelo de Gompertz puede entenderse como una variante del crecimiento exponencial malthusiano, donde el coeficiente de difusión decrece exponencialmente, y permite de nuevo ilustrar la analogía matemática que permite modelizar un buen número de procesos biológicos, incluida la propia evolución de la población humana (Ulloa Ibarra, 2013).

Ecuación 3

Modelo de crecimiento Gompertz.

$$P(t) = P_0 e^{[\ln(L/P_0)][1 - e^{-[k/\ln(L)]t}]} \quad (3)$$

Donde:

P: Población

L: Población máxima sostenible

P_0 : Población inicial

k: Tasa de crecimiento (habitante x año)

t: Tiempo.

Tanto el Logístico como el Gompertz pertenecen a la familia de modelos que se refieren a un crecimiento poblacional donde el modelo exponencial es el punto de partida. Éste último muestra el crecimiento de una población bajo un aumento en una constante porcentual en función del tiempo y en condiciones ideales, pero para condiciones reales (concretas) esto no puede mantenerse de forma indefinida, es decir, es imposible que exista un crecimiento exponencial infinito (Ulloa Ibarra, 2013).

2.1.6. Huella ecológica

La huella ecológica es un indicador ambiental que describe el impacto de un país o región en el medio ambiente; tomando en cuenta los recursos y desechos generados para sostener los patrones de producción y consumo de la sociedad. Se precisa como el área de territorio ecológicamente productiva necesaria para producir los recursos utilizados para absorber los desechos producidos por una determinada población con un determinado nivel de vida, independientemente de su ubicación (Morales, 2022).

2.1.7. Déficit ecológico

El déficit ecológico se produce cuando la huella ecológica de una población excede la capacidad biológica del lugar donde habita. Este término hace referencia a la situación en la que el consumo de recursos naturales y la generación de residuos y contaminación por parte de una comunidad superan su capacidad de producción natural sostenible y de absorción de desechos. El déficit ecológico es un indicador que se relaciona con los límites planetarios y la capacidad biológica de la Tierra para regenerar sus recursos y mitigar la contaminación (James, 2020).

2.1.8. Capacidad de regeneración de la biosfera

Se refiere a la capacidad del ecosistema de la Tierra para recuperarse y restablecer su equilibrio y funciones naturales después de sufrir perturbaciones o impactos ambientales. La biosfera es capaz de regenerarse gracias a los procesos naturales de auto reparación, como la regeneración de la vegetación, la recuperación de poblaciones de especies y el irreversibles para el medio ambiente. Por lo tanto, es fundamental adoptar prácticas sostenibles y responsables para mantener la capacidad de regeneración de la biosfera a largo plazo (López Arnal, 2011).

2.2. MARCO REFERENCIAL

Según Mihelcic y Zimmerman (2012), en su libro **“Ingeniería ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño”**, hace mención que, en los límites del crecimiento, el Club de Roma advertía: Si “las tendencias actuales de crecimiento de la población mundial, industrialización, polución, producción de comida y extinción de recursos continúan sin cambio, se alcanzarán los límites del crecimiento en algún momento de los próximos cien años.” Además, pronosticaron que habría un impacto adverso en la capacidad industrial. Esta visión un tanto amplia de las amenazas que limitan el crecimiento es más coherente con nuestras observaciones sobre el agotamiento de los nutrientes, la lluvia ácida, la contaminación por metales pesados y sustancias químicas orgánicas tóxicas, el agotamiento del ozono y los efectos del cambio climático inducido por el carbono. Malthus podría haberse sorprendido al saber que habíamos "reformado nuestras casas" mucho antes de que la hambruna y "la forma más nueva y destructiva de control de la población" se extendiera por todo el mundo.

Trauger et al., (2003), en su estudio **“The relationship of economic growth to wildlife conservation”** propusieron una generalización de la ecuación IPAT hacia una economía multisectorial, estructurando la población según la edad y discutiendo las ideas que podrían obtenerse en el contexto de la teoría de la población estable. Los análisis realizados por él mostraron que el CO₂ per cápita. Las emisiones aumentaron proporcionalmente con la edad hasta los 60 años y tendieron a reducirse a partir de esta edad. Determinaron que las personas pueden comprender fácilmente los efectos ambientales del uso de recursos per cápita, así como la dimensión de la población (en cantidad), pero no pueden relacionar estos factores con el crecimiento económico. En estos términos, los autores destacan que los impactos económicos de cada uno de los elementos de la fórmula IPAT podrían ayudar a advertir sobre

la capacidad máxima de carga del planeta.

Silva et al. (2019), realizaron una investigación **“New indicator for measuring the environmental sustainability of publicly traded companies: An innovation for the IPAT approach”** los autores presentaron recientemente la ecuación IPAT-e como una variante adicional de IPAT, que se destaca por su aplicabilidad innovadora en el estudio del impacto ambiental de las empresas cotizadas en bolsa. Este nuevo indicador tiene como objetivo resaltar empresas con un alto nivel de compromiso y conciencia ecológica. Aunque cumple funciones similares a la ecuación IPAT, opera en un contexto diferente: las empresas incorporan sus tres elementos (población, consumo y tecnología) mientras forman parte de la lista de variantes de ecuaciones. Esta innovación ofrece una herramienta valiosa para evaluar y comparar el desempeño ambiental de las empresas, lo que puede contribuir significativamente a la promoción de prácticas empresariales sostenibles y a la toma de decisiones responsables en el ámbito económico y ambiental.

En un estudio realizado por Bongaarts (1992) **“Population Growth and Global Warming. Population and Development”** aborda la relación entre el crecimiento demográfico y el calentamiento global, estimando el impacto (I) en términos de emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Este impacto se mide en millones de toneladas de CO₂, mientras que la población se expresa en millones y el PIB per cápita en dólares estadounidenses. Además, la variable tecnológica se presenta en la intensidad de dióxido de carbono necesaria para producir 1 dólar de PIB. Basándose en cifras proporcionadas por la EPA, el libro revela que aproximadamente el 50% del crecimiento proyectado de las emisiones de CO₂ entre 1985 y 2025 está directamente relacionado con el crecimiento de la población. Este hallazgo subraya la influencia significativa que tiene el aumento demográfico en las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, el libro extiende sus proyecciones hasta el año 2100, estimando que el crecimiento de la población contribuirá en un 35% al aumento total de las emisiones de CO₂.

Este análisis resalta la importancia de considerar la población como un factor clave en la formulación de políticas para combatir el cambio climático. La relación entre el crecimiento demográfico y las emisiones de gases de efecto invernadero enfatiza la necesidad de implementar estrategias de planificación urbana y desarrollo sostenible que aborden el equilibrio entre la población, el crecimiento económico y la protección del medio ambiente. Además, destaca la urgencia de adoptar medidas efectivas para limitar las emisiones y

promover tecnologías limpias y energías renovables para mitigar los impactos del cambio climático a largo plazo (Molinas, 2010).

Mackellar et al (1995), en su investigación **“Population, Households, and CO₂ Emissions. Population and Development”** se explora cómo el modelo IPAT puede ser utilizado en el campo de los estudios sobre el desarrollo para integrar la población, el medio ambiente y la economía en un único análisis multidisciplinario y discutir los resultados potenciales de las proyecciones realizadas. Este modelo se ha empleado en varios campos de las ciencias sociales para elaborar proyecciones y escenarios debido a su capacidad para capturar la compleja interacción entre estos tres factores clave. Sin embargo, es importante destacar que esta metodología se basa en supuestos que, aunque útiles para simplificar el modelo, también introducen limitaciones tanto desde el punto de vista conceptual como analítico. Estos supuestos pueden incluir simplificaciones en la relación entre la población, el consumo y las emisiones, así como en la capacidad del medio ambiente para absorber y mitigar los impactos ambientales. Por lo tanto, es fundamental reconocer estas limitaciones al utilizar el modelo IPAT y complementarlo con análisis más detallados y contextualizados para una comprensión completa de las dinámicas del desarrollo y sus implicaciones ambientales.

Ahmad et al., (2020), en su estudio **“The dynamic impact of natural resources, technological innovations and economic growth on ecological footprint: An advanced panel data estimation”**, se resalta que las actividades humanas, como la deforestación, la minería y la agricultura intensiva, se encuentran entre las principales causas de degradación ambiental a nivel global. Este fenómeno se ve reflejado en el aumento significativo de la huella ecológica de la humanidad, que ha experimentado un crecimiento de casi un 190 por ciento en los últimos 50 años. Este aumento drástico indica un desequilibrio cada vez mayor en la relación entre los seres humanos y el medio ambiente que los rodea, lo que plantea serias preocupaciones sobre la sostenibilidad de nuestras prácticas y estilos de vida. Además, se destaca que más del 80 por ciento de la población mundial vive en países que operan con un déficit ecológico, lo que significa que están consumiendo más recursos de los que el planeta puede regenerar de manera sostenible. Esta situación es alarmante y subraya la urgencia de abordar la sobreexplotación de los recursos naturales y el cambio climático. Es evidente que la cuenta de la humanidad con la Tierra ya está en deuda, ya que estamos utilizando los recursos naturales a un ritmo insostenible, comprometiendo la capacidad del planeta para mantener las condiciones ambientales necesarias para el bienestar humano y el equilibrio

ecológico. En este contexto, es crucial reconocer la necesidad de implementar medidas significativas para revertir esta tendencia preocupante. Se requiere un enfoque integral que incluya la conservación de los ecosistemas, la adopción de tecnologías más limpias y sostenibles, así como cambios en los patrones de consumo y producción. Es fundamental tomar acciones a nivel individual, comunitario y global para reducir nuestra huella ecológica y promover un desarrollo más sostenible que respete los límites del planeta y garantice un futuro próspero para las generaciones venideras.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

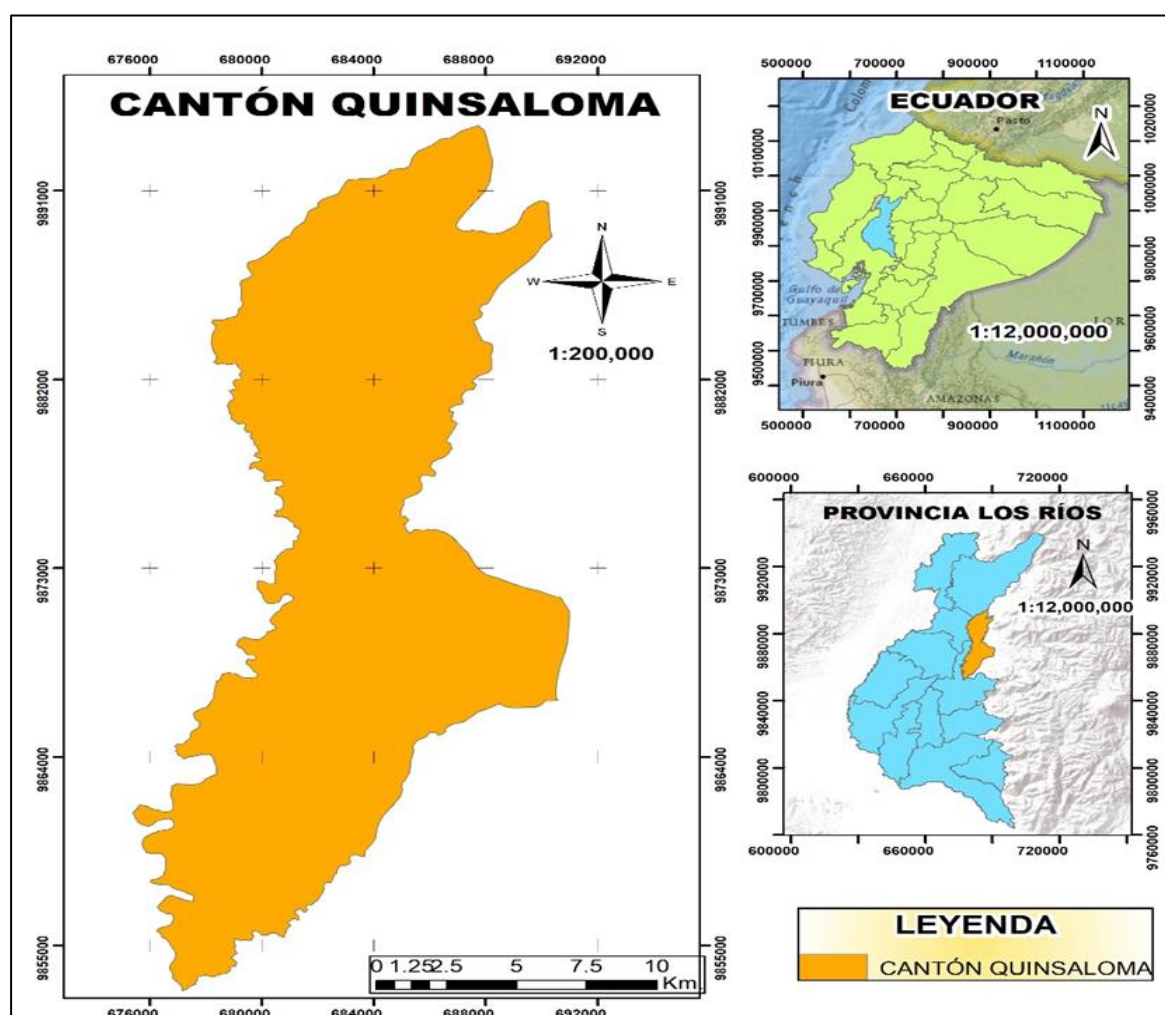
3.1. Metodología de la Investigación

3.1.1. Localización

A través del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019-2023, se describe geográficamente el cantón Quinsaloma, como el más joven de la provincia de Los Ríos y está ubicado en la parte Norte - Este, colindando con las provincias de Bolívar y Cotopaxi. La división política administrativa, establece que este cantón está conformado únicamente por una parroquia urbana, que es su cabecera cantonal, Quinsaloma. La zona urbana se encuentra dividida en dos zonas principales Al Norte y Sur y a su vez se encuentran subdivididas en 3 sectores permitiendo gestionar mejor el territorio (PDOT, 2020).

Figura 1

Mapa de ubicación del cantón Quinsaloma.



Nota. La figura representa el área de estudio en la presente investigación. Tomado de IGM.

El cantón Quinsaloma es una ciudad ecuatoriana de la Región Costa ubicada en la parte centro este de la Provincia de Los Ríos, tiene una superficie 312 km² se encuentra a 30 a 40 m.s.n.m. Es una ciudad netamente agrícola donde se produce y comercializan varios productos como: cacao, maíz, arroz, soya, maracuyá, fréjol de palo, banano, café y cítricos. Además, también existe actividad comercial, ubicada en el centro del Ecuador con un clima subtropical y una población de 20.428 habitantes, según Proyección del INEC al año 2020 (PDOT, 2020).

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Documentada

Para cumplir con el requerimiento de obtener información académica y científica para esta investigación, se utilizaron diversas herramientas de búsqueda, entre las cuales se destacan los buscadores como Google, Google Scholar, Microsoft Academic Search y Google Books, así como bases de datos como Dialnet, Scopus y Web of Science. A través de estas herramientas, se pudo acceder a tesis de grado, tesis doctorales, artículos científicos y libros.

El objetivo de realizar esta búsqueda fue citar información relevante para complementar la revisión bibliográfica y considerar casos de estudio que permitieran profundizar en el problema de investigación. Esto a su vez permitiría ofrecer posibles soluciones a la problemática que los habitantes enfrentan en sus actividades diarias.

3.2.2. Diagnóstica

Con el fin de obtener información relevante sobre la situación actual de los habitantes del cantón Quinsaloma en relación al uso y aprovechamiento de los recursos naturales, se llevó a cabo una recopilación de datos mediante encuestas. Esta investigación se enfocó específicamente en aspectos relacionados con la huella ecológica, que incluye el consumo de productos agrícolas y animales, el consumo de energía, el uso de productos derivados de la madera, así como su relación con los estresores ambientales que pueden tener impactos negativos tanto en la salud como en el medio ambiente.

3.2.3. Campo

La revisión y la realización de encuestas en el cantón Quinsaloma ha permitido identificar la realidad a la que se enfrentan los habitantes debido al uso inapropiado de los recursos naturales. También se han observado afectaciones en las formas de vida socioeconómica y

política, así como la falta de conciencia ambiental y el desconocimiento de buenas prácticas en este ámbito. Esta situación resalta la necesidad de contar con herramientas innovadoras y confiables que promuevan acciones diarias viables y sostenibles.

3.3. MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. Método cuantitativo

Se utilizó el enfoque de investigación cuantitativa para poder medir y cuantificar el problema de investigación. Para lograr esto, se aplicaron herramientas estadísticas que permitieron analizar las variables estudiadas y determinar si existen correlaciones significativas entre ellas.

3.3.2. Método cualitativo

El método utilizado consistió en aplicar una encuesta para recolectar información relevante. Esta información se analizó, ponderó e interpretó con el fin de obtener una comprensión más profunda de las actividades realizadas por los habitantes en su entorno natural.

3.3.3. Método inductivo

El método inductivo se utilizó para determinar la muestra de habitantes seleccionados para la encuesta. Esto proporcionó una apreciación de la situación actual, permitiendo deducir la problemática que se enfrenta y evaluar el uso de los recursos naturales en los hogares del cantón Quinsaloma.

3.3.4. Método descriptivo

A través del método descriptivo implementado, se pudo determinar la situación actual de la calidad de vida de los habitantes y su relación con el uso y aprovechamiento de los recursos naturales en los hogares. Esto se logró mediante un análisis descriptivo que abarcó aspectos como el consumo de productos agrícolas y animales, así como el consumo de energía.

3.4. FUENTES DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

3.4.1. Fuentes primarias

Para llevar a cabo la investigación, se utilizaron fuentes primarias de recopilación de información, como la observación directa y la aplicación de encuestas. Durante este proceso, se estableció un diálogo con los habitantes del sitio de investigación con el fin de obtener

información precisa y actualizada sobre la realidad del cantón Quinsaloma.

3.4.2. Fuentes secundarias

Para complementar la recopilación de información, también se utilizaron fuentes secundarias como textos, revistas científicas, tesis de grado, tesis doctorales, geoinformación y normativas nacionales. Estas fuentes fueron utilizadas para obtener datos adicionales y respaldar los hallazgos encontrados durante la investigación.

3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.5.1. OE1: Simular el crecimiento de la población del cantón Quinsaloma bajo diferentes enfoques asintóticos.

Para alcanzar este objetivo, se iniciará la recopilación de datos poblacionales del Cantón Quinsaloma directamente desde la fuente oficial proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos de Ecuador (INEC). Posteriormente, se aplicarán métodos avanzados de análisis numérico, focalizados en el ajuste de curvas, y se emplearán herramientas informáticas especializadas como Microsoft Excel y el software matemático Maple 18. Esta integración de recursos se utilizará para la elaboración de los modelos asintóticos Logísticos y Gompertz, reconocidos de manera prominente en el ámbito demográfico (Prodanov, 2023).

Además, se detallarán pormenorizadamente los procedimientos inherentes a este proceso, comenzando por la recopilación y limpieza de los datos poblacionales, seguidos por la aplicación de los modelos matemáticos para el ajuste de curvas. Posteriormente, se realizarán las simulaciones poblacionales utilizando los parámetros obtenidos de los modelos, lo que permitirá proyectar la evolución demográfica del Cantón Quinsaloma en diferentes horizontes temporales. Este enfoque integral garantiza una metodología sólida y rigurosa para comprender y prever los cambios en la población, lo que será fundamental para la planificación y gestión del desarrollo del área en cuestión.:

3.5.1.1. Bases de datos de población

Como punto de inicio, se procedió a la recopilación de los datos poblacionales correspondientes al cantón Quinsaloma, abarcando el período temporal del 2010 al 2020, tal como se evidencia en la Tabla 1 adjunta. La fuente primaria de información empleada fue el Instituto Nacional de Estadística y Censos de Ecuador (INEC), y la extracción de datos se

llevó a cabo en formato Excel mediante su plataforma digital.

Tabla 1

Población del cantón Quinsaloma.

Año	Población
2010	17021
2011	17364
2012	17707
2013	18050
2014	18393
2015	18735
2016	19076
2017	19416
2018	19754
2019	20092
2020	20428

FUENTE: (INEC, 2010)

ELABORADO: AUTOR (2024)

3.5.1.2. Tratamiento de datos y construcción del modelo

Con el objetivo de optimizar los cálculos numéricos, se lleva a cabo una normalización de los datos en la plataforma de hojas de cálculo Excel. En cuanto a la variable "año", se realiza una transformación sustituyendo la unidad temporal "años" por "t", donde $t=0$ representa el año base 2010. Esta transformación facilita el análisis de los datos y su interpretación en términos de la evolución temporal. Además, la representación de la población se ajusta a una escala de mil unidades para mejorar la legibilidad y la comparabilidad de los resultados, como se detalla en la Tabla 2 adjunta. Este proceso asegura una manipulación eficiente y coherente de los datos, preparándolos para un análisis más detallado y preciso.

Tabla 2*Ajustes de escala de la población.*

t (años)	Población (Miles)
0	17.021
1	17.364
2	17.707
3	18.050
4	18.393
5	18.735
6	19.076
7	19.416
8	19.754
9	20.092
10	20.428

FUENTE: (INEC, 2010)

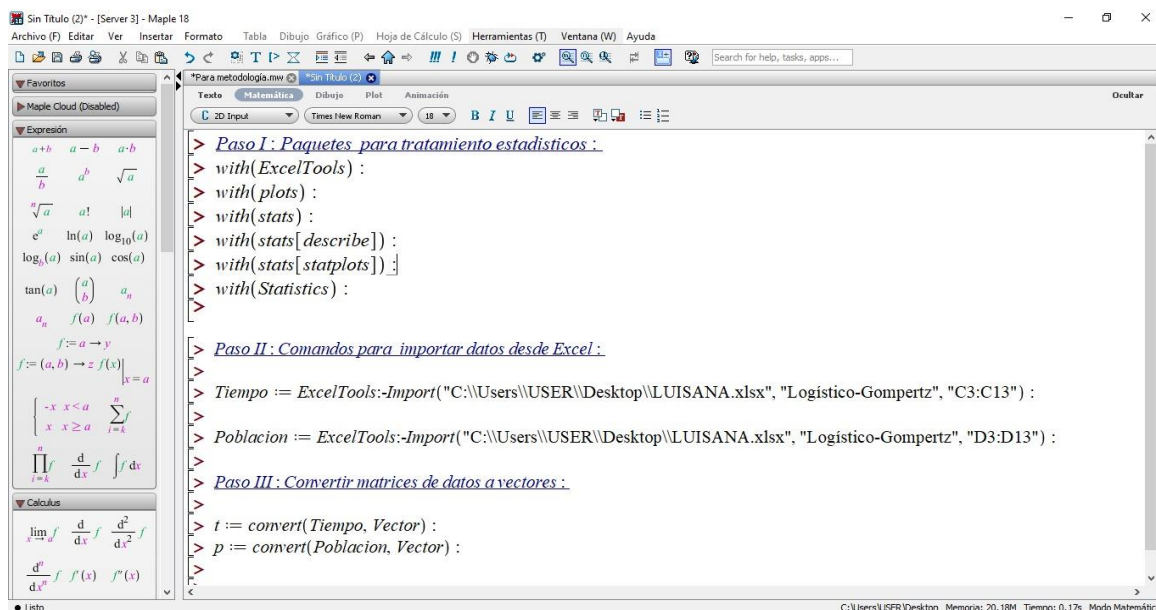
ELABORADO: AUTORA (2024)

Para el desarrollo del modelo, se lleva a cabo la transferencia de datos desde el entorno de hojas de cálculo Excel al software matemático Maple 18. Este proceso garantiza una integración fluida de los datos recopilados con las herramientas analíticas avanzadas disponibles en Maple 18.

En la Figura 2 se presentan detalladamente los procedimientos para la inclusión de paquetes y la ejecución de comandos necesarios en Maple 18. Estos pasos permiten realizar un análisis matemático y estadístico preciso de los datos, lo que resulta fundamental para la construcción y la validación del modelo. La visualización detallada de los procedimientos en la Figura 2 facilita el entendimiento y la replicación del análisis por parte de otros investigadores, garantizando así la transparencia y la reproducibilidad de los resultados.

Figura 2

Pasos en Maple 18 para el tratamiento de datos.



Nota. La figura muestra los pasos realizados en el software Maple 18 para el tratamiento de datos de los modelos Logísticos y de Gompertz.

Para la generación de los modelos asintóticos, se integran en Maple 18 las funciones matemáticas pertinentes que representan los modelos de interés. En esta investigación, se elige emplear el modelo Logístico y el modelo Gompertz, los cuales son ampliamente reconocidos en el ámbito de los modelos demográficos. El modelo Logístico, es útil para describir el crecimiento limitado de una población en función del tiempo, mientras que el modelo Gompertz, que se basa en una función exponencial decreciente, es adecuado para modelar el crecimiento poblacional en situaciones en las que existen factores limitantes que afectan el crecimiento. Ambos modelos ofrecen una representación matemática precisa de la dinámica poblacional y permiten realizar pronósticos sobre la evolución futura de la población, lo que resulta fundamental para la planificación y la toma de decisiones en diversos ámbitos, como la salud pública, la economía y la planificación urbana. (Onyido et al., 2024).

La Tabla 3 presenta los modelos matemáticos seleccionados, así como la interpretación de sus parámetros correspondientes. Estos modelos son fundamentales para comprender la dinámica poblacional del Cantón Quinsaloma y su proyección futura. Cada modelo ofrece una perspectiva única sobre cómo la población puede evolucionar con el tiempo, lo que proporciona información crucial para la planificación y gestión del desarrollo del área.

Tabla 3*Modelos Asintóticos Demográficos.*

Modelo	Estructura matemática	Variables y parámetros
Logístico	$P(t) = \frac{L}{1 + [(L - P_0)/P_0]e^{-kt}}$	P: Población (miles) L: Población máxima sostenible (miles) Po: Población base (miles)
Gompertz	$P(t) = P_0 e^{[\ln(L/P_0)][1 - e^{-[k/\ln(L)]t}]}$	k: Tasa de crecimiento específica (habitante x año) t: Tiempo (años)

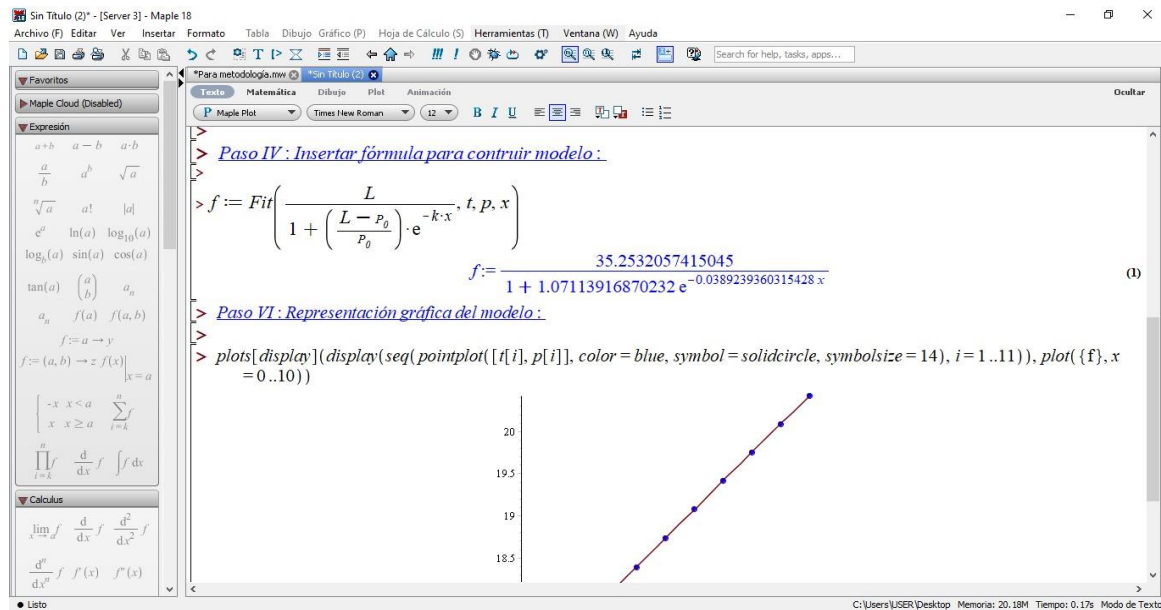
ELABORADO: AUTORA (2024)

El desafío principal radica en la determinación de los parámetros L, k y P_0 que proporcionen el mejor ajuste al modelo propuesto. En la Figura 3 se detallan los comandos y la programación en Maple 18 para la incorporación de las fórmulas asintóticas, un aspecto fundamental en la construcción tanto analítica como gráfica de este modelo. Los resultados obtenidos mediante estas construcciones analíticas y gráficas con Maple se detallan exhaustivamente en la sección de resultados correspondiente.

La elección de los parámetros óptimos se basa en criterios como el ajuste de los modelos a los datos observados, la precisión de las predicciones y la capacidad de los modelos para capturar la dinámica poblacional. Este proceso de ajuste de parámetros es esencial para garantizar que los modelos sean representativos y útiles para la planificación y toma de decisiones en el contexto demográfico considerado. Un ajuste adecuado asegura que los modelos sean capaces de proporcionar información precisa sobre la evolución poblacional, lo que es crucial para abordar eficazmente los desafíos de planificación y desarrollo en el Cantón Quinsaloma.

Figura 3

Pasos en Maple 18 para el ajuste de un modelo.



Nota. La figura muestra los pasos realizados en el software Maple 18 para el tratamiento de datos de los modelos Logísticos y de Gompertz.

Para evaluar la idoneidad del ajuste, se integran en Excel las fórmulas correspondientes a los modelos generados por Maple 18. Se procede a calcular el cuadrado de la diferencia entre los datos experimentales y los valores predichos por el modelo teórico, lo que resulta en la obtención de los errores medios cuadráticos, expresados de la siguiente manera:

Ecuación 4

Errores medios cuadráticos: Suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los valores teóricos.

$$S_r = \sum_{i=1}^{11} [P_{\text{datos}} - P_{\text{teórico}}]^2 \quad (4)$$

Posteriormente, se determina el cuadrado de la desviación de cada dato experimental con respecto al promedio. Este proceso permite calcular una medida de dispersión, que indica cuánto varían los datos experimentales respecto a su promedio:

Ecuación 5

Varianza: Suma del cuadrado de desviación de datos respecto al promedio.

$$S_t = \sum_{i=1}^{11} [P_{datos} - P_{promedio}]^2 \quad (5)$$

La eficacia del modelo se evalúa mediante la aplicación de la fórmula sumando los cuadrados de las desviaciones de los datos observados respecto al promedio (Chapra y Canale, 2007).

Ecuación 6

Tasa de crecimiento relativo.

$$r = \frac{S_t - S_r}{S_t} \quad (6)$$

Cuando el coeficiente de correlación r se aproxima a la unidad, indica una correlación fuerte, lo que implica un ajuste óptimo del modelo. Estos cálculos ofrecen una herramienta cuantitativa para evaluar la calidad del ajuste del modelo a los datos experimentales. Los gráficos de los puntos muestrales, de los modelos teóricos asintóticos identificados y las proyecciones a corto, mediano y largo plazo de la población se elaboran en la hoja de cálculo Excel.

3.5.2. OE2: *Proyectar el impacto ambiental de la población urbana en el cantón Quinsaloma.*

El desarrollo metodológico para la construcción de los modelos asintóticos Logísticos y Gompertz de la población, que permiten la simulación y extrapolación demográfica, ha sido abordado en la sección previa. A continuación, se describe el procedimiento para la extrapolación del impacto ambiental derivado del consumo y las actividades cotidianas de los habitantes del Cantón Quinsaloma. En este contexto, se utiliza la ecuación IPAT, la cual evalúa el impacto ambiental considerando la población, la afluencia (consumo de recursos por persona) y la tecnología (emisiones generadas por el consumo). El producto de la afluencia por la tecnología determina la huella ecológica, cuyo cálculo se detalla mediante el uso de análisis estadístico descriptivo. La fuente de datos para esta huella, relacionada con los patrones de consumo, se obtiene a través del calculador Global Footprint Network, avalado por expertos, investigadores internacionales y organizaciones (Yu et al., 2016). Los detalles específicos de este proceso se exponen a continuación.

3.5.2.1. Ecuación IPAT

La siguiente ecuación:

$$I = P \cdot A \cdot T \quad (1)$$

La ecuación IPAT, desarrollada en la década de 1970, se emplea para proyectar el impacto ambiental en el Cantó Quinsaloma. Según este modelo, el impacto medioambiental (I) puede expresarse en términos de agotamiento de recursos o acumulación de desperdicios. La población (P) representa el tamaño de la población humana, la afluencia (A) denota el nivel de consumo de esta población, y la tecnología (T) comprende el proceso utilizado para obtener recursos y transformarlos en bienes útiles y residuos (Mihelcic y Zimmerman, 2012).

Tras haber presentado la metodología para la obtención de información poblacional en la sección anterior, es preciso abordar ahora la descripción del proceso para aplicar el modelo IPAT. Específicamente, debemos detallar el cálculo de la afluencia (A) y la tecnología (T). La afluencia se define como la tasa de consumo promedio de los individuos dentro de la población. Por tanto, para calcular la afluencia en una población determinada, se tiene la siguiente ecuación:

Ecuación 7

Eficacia del ajuste.

$$A[hag/Personas] = \frac{Huella\ ecológica\ total\ [hag]}{Población\ [personas]} \quad (7)$$

En lo que respecta a la tecnología, que representa la tasa de emisiones generadas por el consumo, se calcula de la siguiente manera para una población dada:

Ecuación 8

Factor de emisión de tecnología.

$$T[tCO_{2eq}/(hag \cdot año)] = \frac{Huella\ de\ carbono\ total\ [tCO_{2eq}/año]}{Población\ [personas] \cdot afluencia[hag/Personas]} \quad (8)$$

Es importante destacar que los cálculos A y T necesitan información sobre la huella ecológica y la huella de carbono, respectivamente, las cuales se detallan más adelante en esta sección.

3.5.2.2. Calculadora de huella ecológica Global Footprint Network

Para determinar la huella ecológica, se utiliza el calculador del Global Footprint Network, una herramienta ampliamente reconocida por investigadores en el ámbito del desarrollo sostenible (Network, Global Footprint, 2019) La Figura 4 muestra una representación visual de esta herramienta, la cual se distingue por ser de acceso libre para cualquier individuo con conexión a internet y un dispositivo informático. Este recurso evalúa la huella ecológica personal a través de cuestionarios sobre los hábitos de consumo en categorías como alimentos, vestimenta, movilidad, bienes y servicios.

Figura 4

Plataforma de Global Footprint Network.



Nota. La figura representa en hectáreas globales, la huella ecológica, huella de carbono y las categorías de consumo por persona. Tomado de la Plataforma Global Footprint Network. (Network, Global Footprint, 2019).

La premisa fundamental radica en emplear el calculador para evaluar la huella ecológica de cada individuo seleccionado como parte de la muestra representativa del Cantón Quinsaloma. Con este propósito, se elabora un cuestionario utilizando la herramienta Google Forms, el cual se aplica a la muestra aleatoria previamente mencionada. Las preguntas formuladas en el cuestionario coinciden con las establecidas en el calculador. Posteriormente, las respuestas

proporcionadas por los participantes se ingresan en el calculador para obtener el valor específico de la huella ecológica de cada individuo.

Además de proporcionar la huella ecológica, el calculador también ofrece información sobre la huella de carbono y la necesidad de tierras para mantener el estilo de vida asociado al consumo de cada individuo. Cada valor de la huella ecológica se organiza en una hoja de cálculo Excel, generando así una base de datos. La organización de esta información se detalla minuciosamente en la Tabla 4.

Tabla 4
Registro de huella ecológica de los habitantes del cantón Quinsaloma.

Muestra	Huella Ecológica (gha)							Huella de carbono (tCO _{2eq} /año)		Promedio Necesidad de tierras
	Comida	Abrigo	Movilidad	Bienes	Servicios	Total	Promedio (hag/persona)	Total	Promedio	

ELABORADO: AUTORA (2024)

3.5.2.3. Población y muestra

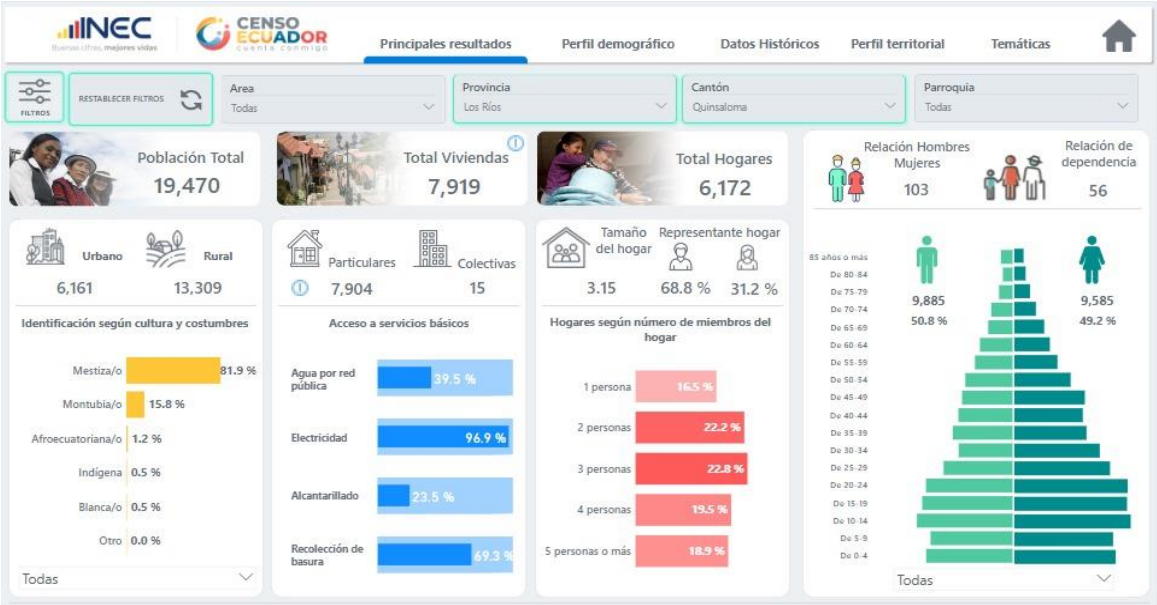
Una vez que se ha definido la metodología para calcular la huella ecológica individual, el paso siguiente implica la selección de la población y la muestra correspondiente al Cantón Quinsaloma para llevar a cabo las encuestas. El cantón tiene una población de 19.470 habitantes (INEC, 2024), lo que nos lleva a la necesidad de determinar el tamaño de la muestra representativa para la realización de las encuestas. En la Tabla 5 se muestra la fórmula estadística para calcular una muestra finita, así como el resultado del cálculo que establece el tamaño necesario para la muestra (McLachlan et al., 2019).

Tabla 5
Fórmula estadística para el cálculo de muestra representativa.

Fórmula estadística	Variables y Parámetros
$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$	n= Tamaño de la muestra deseado
	N= Tamaño actual de la muestra (5671 habitantes)
	Z= Parámetro estadístico nivel de confianza (1.96)
	e= Error de estimación máximo aceptado (0.05)
	p= Probabilidad a favor (0.5)
Cálculo de la muestra	q= Proporción en contra (0.5)
	$n = \frac{19470 \cdot 1.96^2 \cdot 0.50 \cdot 0.50}{0.05^2 \cdot (5671 - 1) + 1.96^2 \cdot 0.50 \cdot 0.50}$ n = 377 personas

ELABORADO: AUTORA (2024)

Figura 5
Datos Estadísticos de Población INEC.



ELABORADO: AUTORA (2024)

La Figura 5 muestra los datos estadísticos de población obtenidos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2024). Estos datos proporcionan información relevante sobre la distribución de la población en un área geográfica específica durante un período de tiempo determinado. Esta información es fundamental para comprender la dinámica poblacional de una región y puede utilizarse para fines de planificación urbana, política pública, análisis socioeconómico y estudios de mercado, entre otros.

3.5.2.4. Extrapolación del impacto ambiental

Después de registrar la huella ecológica de la muestra representativa, compuesta por 360 individuos, se aplican herramientas estadísticas descriptivas para calcular el promedio de la huella ecológica (gha por persona) y la huella de carbono equivalente ($tCO_{2eq}/año$), así como la necesidad de tierra (gha por persona) de los habitantes del Cantón Quinsaloma. Simultáneamente, se calcula los términos de A y T por medio de las ecuaciones (7) y (8) respectivamente. Seguido, se realiza una regresión lineal para calcular la tasa de crecimiento de las huellas en relación con el número de habitantes esto es:

Ecuación 9

Ajuste lineal para la huella ecológica por habitantes.

$$HE[hag] = a_1 \left[\frac{hag}{personas} \right] p[personas] + a_0[hag] \quad (9)$$

Ecuación 10

Ajuste lineal para la emisión de carbono por habitantes.

$$HC[tCO_{2eq}/año] = b_1 \left[\frac{tCO_{2eq}/año}{personas} \right] p[personas] + b_0[tCO_{2eq}/año] \quad (10)$$

Dado que el ajuste es lineal, es necesario determinar los valores de los coeficientes a_1 , a_0 , b_1 y b_2 que proporcionen el mejor ajuste para las rectas. Las herramientas esenciales para llevar a cabo el análisis estadístico descriptivo y las regresiones lineales están integradas en la hoja de cálculo Excel, lo que simplifica tanto el análisis como la presentación de los resultados.

Con toda esta información, se establece la base para extrapolar el impacto ambiental utilizando

la ecuación IPAT, de la siguiente manera:

Ecuación 11

Impacto ambiental total.

$$I[tCO_{2eq}/año] = P[personas] \cdot A[hag/Personas] \cdot T[tCO_{2eq}/(hag \cdot año)] \quad (11)$$

La población se determina utilizando los modelos presentados en la Tabla 3, mientras que los términos de afluencia y tecnología se derivan mediante las ecuaciones (2) y (3). Esto implica combinar el análisis de regresión lineal con las estadísticas descriptivas de la matriz de datos presentada en la Tabla 4.

3.5.3. OE 3: Comparar el impacto ambiental proyectado de la población del Cantón Quinsaloma a nivel nacional y con algunas regiones a nivel mundial.

Una vez evaluado el impacto ambiental en el Cantón Quinsaloma mediante el uso de la ecuación IPAT, se procede a comparar los resultados tanto a nivel nacional como con algunas regiones del mundo. Para este propósito, se accede a bases de datos de Expansiones/Datosmacro, con el fin de determinar en qué nivel de impacto se sitúa el estudio y visualizar el potencial que representa.

3.5.3.1. Emisiones CO₂ de Ecuador: base de datos Expansión/Datosmacro

La plataforma en línea Datosmacro está especializada en brindar las principales variables económicas y socio-demográficas de cientos de países, con el propósito de ofrecer una visión global de la situación económica en cada momento y lugar (Datosmacro, 2022). Su base de datos es un conglomerado de información recopilada por los organismos oficiales de diversas naciones y regiones. Destaca por ser de acceso libre para cualquier persona con conexión a internet y un dispositivo electrónico. Gracias a esta accesibilidad, Datosmacro se convierte en una herramienta invaluable para investigadores, profesionales, estudiantes y el público en general interesado en comprender las tendencias económicas y demográficas a nivel mundial. Además, al proporcionar datos confiables y actualizados, la plataforma facilita el análisis comparativo entre países y la formulación de estrategias informadas para el desarrollo económico y social.

Figura 6

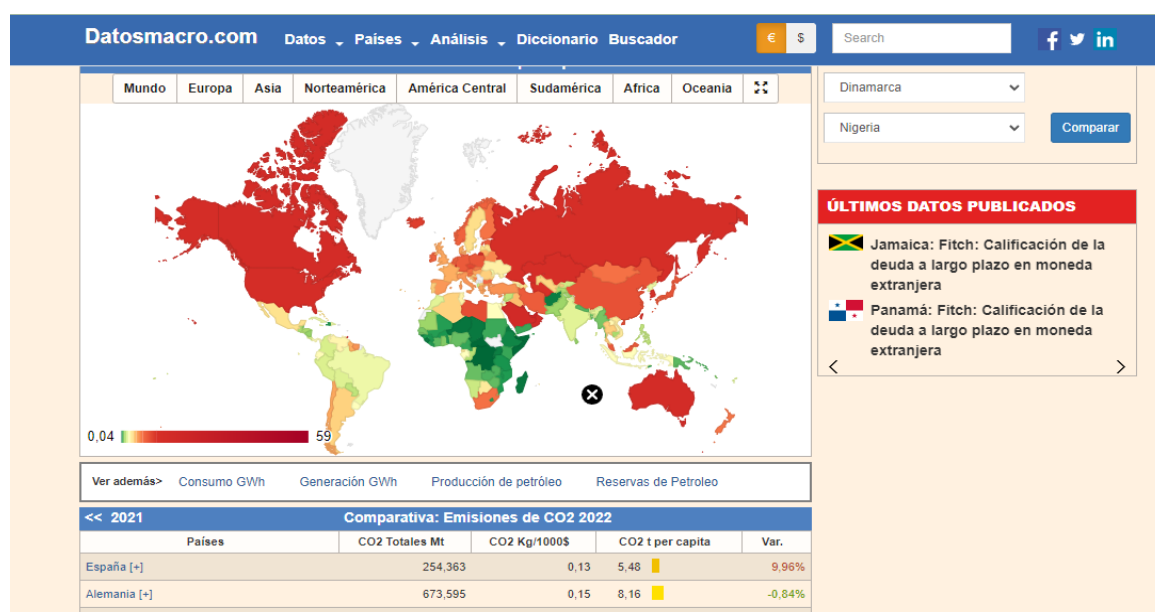
Expansión/Datosmacro, Emisiones de CO₂.



Nota. La Figura muestra una visualización de esta plataforma para los datos de emisiones de CO₂ en Ecuador.

Figura 7

Emisiones Globales de CO₂.



Nota. La Figura 6 muestra una visualización de la plataforma para los datos de emisiones a nivel mundial.

A partir de los datos de emisiones de CO₂ proporcionados por Expansión/Datosmacro, se comparará el impacto ambiental del Cantón Quinsaloma, obteniendo una perspectiva clara

en relación con otras regiones dentro del país y en el ámbito internacional.

3.6. INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Para la presente investigación se utilizará un cuestionario de preguntas de selección simple. Las preguntas se extraen del calculador de huella ecológica Global Footprint Network: Esta organización es una de las principales referencias en el campo de la huella ecológica y su calculadora permite evaluar la huella ecológica a nivel individual, nacional o global. Consta de aproximadamente 15 preguntas las cuales se podrán observar en el apartado de anexo, cada pregunta se enfoca en diferentes aspectos del estilo de vida y consumo, como el tipo de vivienda que tienes, tu consumo de energía, tus hábitos alimenticios y transporte, entre otros. Por otro lado, otro instrumento de evaluación son los datos demográficos proporcionado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) en formato de hojas de cálculo los cuales se utilizarán para construcción de simulaciones.

3.7. Tratamiento de datos

Los datos que se utilizarán en la investigación se obtendrán de dos maneras. La primera son de una base de datos (INEC) y el análisis de los mismos se realizará utilizando el software matemático Maple 18, puesto que dispone de un paquete estadístico que permite construir regresiones no lineales de forma gráfica y analítica. La segunda base de datos se construirá a partir de un conjunto de encuestas aplicada a muestra poblacional, el tratamiento estadístico de estos se efectuará mediante hojas de cálculo y el programa estadístico Jamovi. Los cálculos estadísticos a utilizar consisten en valores promedios, desviación estándar, prueba de normalidad y regresión acumulada.

3.8. Recursos humanos y materiales

3.8.1. Recursos humanos

- Docentes
- Estudiantes
- Población encuestada

3.8.2. *Materiales*

3.8.2.1. *Materiales tecnológicos*

- Computadora
- Cámara
- Smartphone
- Impresora

3.8.2.2. *Softwares*

- ArcGIS v10.8
- Microsoft Office
- Software Maple 18
- Excel
- Jamovi

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. OE 1: Simular el crecimiento de la población del cantón Quinsaloma bajo diferentes enfoques asintóticos.

Los análisis numéricos realizados a través del software Maple 18, utilizando los datos recopilados en la Tabla 2, han permitido la determinación precisa de los parámetros L , k y P_0 para las familias de curvas Logísticas y Gompertz. Estos parámetros representan los modelos que mejor se ajustan a los datos proporcionados, lo que ofrece una visión profunda de la dinámica poblacional.

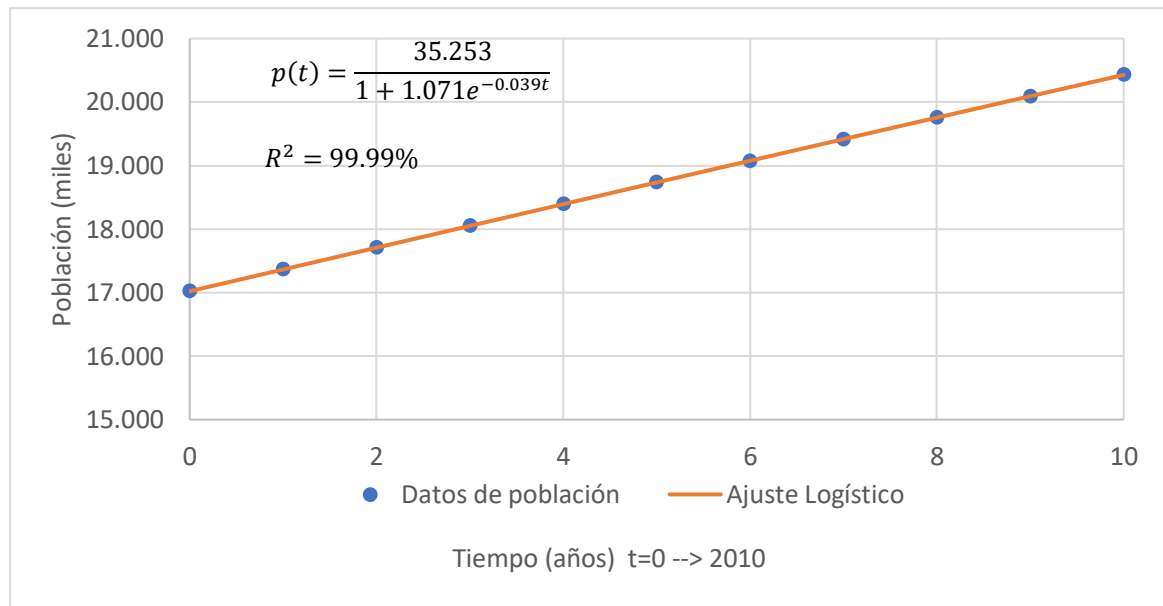
Este enfoque analítico proporciona una comprensión detallada de cómo evoluciona la población, permitiendo identificar patrones y tendencias significativas. La precisión en la determinación de estos parámetros es crucial para comprender la evolución demográfica y establecer estrategias efectivas para la planificación y gestión del desarrollo del área en cuestión.

Esta información no solo es fundamental para comprender el presente, sino que también proporciona una base sólida para proyectar el futuro demográfico y diseñar políticas y programas que se adapten a las necesidades cambiantes de la población. Además, la aplicación de modelos como el Logístico y el Gompertz nos permite no solo comprender la evolución poblacional en un contexto estático, sino también anticipar posibles escenarios futuros. Estas herramientas analíticas son esenciales para la toma de decisiones informadas en el ámbito del desarrollo urbano, la planificación de recursos y la gestión ambiental.

La representación gráfica en la Figura 8 contrasta los puntos muestrales con el modelo de ajuste logístico. Este análisis revela que la capacidad máxima sostenible de la población en el cantón Quinsaloma es de $L=35.253$ habitantes, con una tasa de crecimiento promedio de 39 personas/año. Al iniciar en $t=0$, el modelo indica que la población inicial es de 17.021 habitantes, presentando una discrepancia mínima del 0.0010% respecto a la población real inicial registrada en el año 2010. Esta estrecha coincidencia entre la estimación del modelo y los datos observados es esencial para la validez del análisis. Además, la curva exhibe un impresionante coeficiente de determinación del 99.99%, lo cual evidencia una excelente correspondencia del modelo logístico con los datos reales. Esta alta precisión demuestra la capacidad del modelo para capturar y predecir con gran fiabilidad la dinámica de la población en el cantón Quinsaloma.

Figura 8

Modelo de ajuste Logístico.



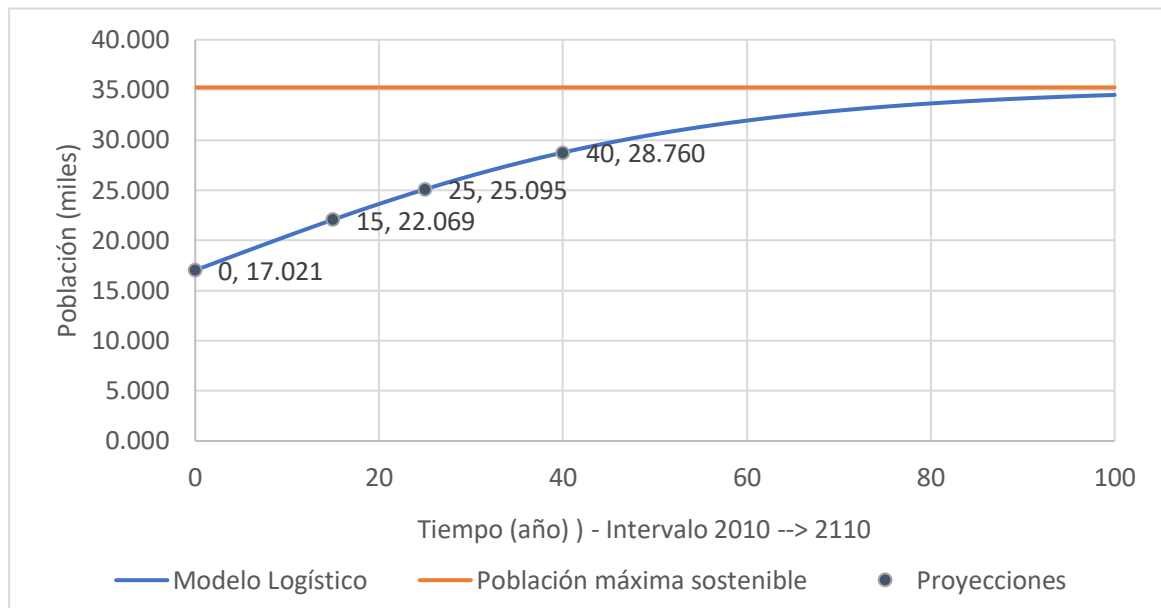
ELABORADO: AUTORA (2024)

La Figura 9 presenta la simulación de la población conforme al modelo logístico en diferentes horizontes temporales: corto plazo (5 años), mediano plazo (15 años) y largo plazo (30 años). Esta representación gráfica ofrece una visión clara de la evolución proyectada de la población en el cantón Quinsaloma. Según el modelo, la proyección a corto plazo para $t=15$, es decir, en el año 2025, estima una población de 22.069 habitantes. Esta cifra refleja un crecimiento continuo, aunque a un ritmo más moderado que en períodos anteriores. Para el mediano plazo, $t=25$, correspondiente al año 2035, se prevé una población de 25.095 habitantes. Este incremento demográfico sugiere una estabilización gradual del crecimiento, acercándose a la capacidad máxima sostenible de la población en el área. Finalmente, la proyección a largo plazo para $t=40$, en el año 2050, pronostica una población de 28.760 habitantes. A medida que avanzamos en el tiempo, la tasa de crecimiento poblacional tiende a disminuir, acercándose al límite de la población máxima sostenible, establecida en 35.253 habitantes.

Es importante destacar en el gráfico cómo la tasa de crecimiento poblacional muestra una tendencia a decrecer a medida que se acerca al límite de capacidad, lo que refleja la dinámica propia de un modelo logístico y la realidad de una población que eventualmente alcanzará un estado de equilibrio. Esta información es esencial para la planificación a largo plazo y la gestión sostenible del desarrollo en el cantón Quinsaloma.

Figura 9

Simulación de la población máxima sostenible del Modelo Logístico.



ELABORADO: AUTORA (2024)

La Figura 10 ofrece una comparación entre los puntos muestrales y el modelo de ajuste de Gompertz, proporcionando una visión clara de la evolución de la población en el cantón. Este análisis revela que la población máxima sostenible del cantón se estima en $L=45.209$ habitantes, con una tasa de crecimiento promedio de 79 personas por año.

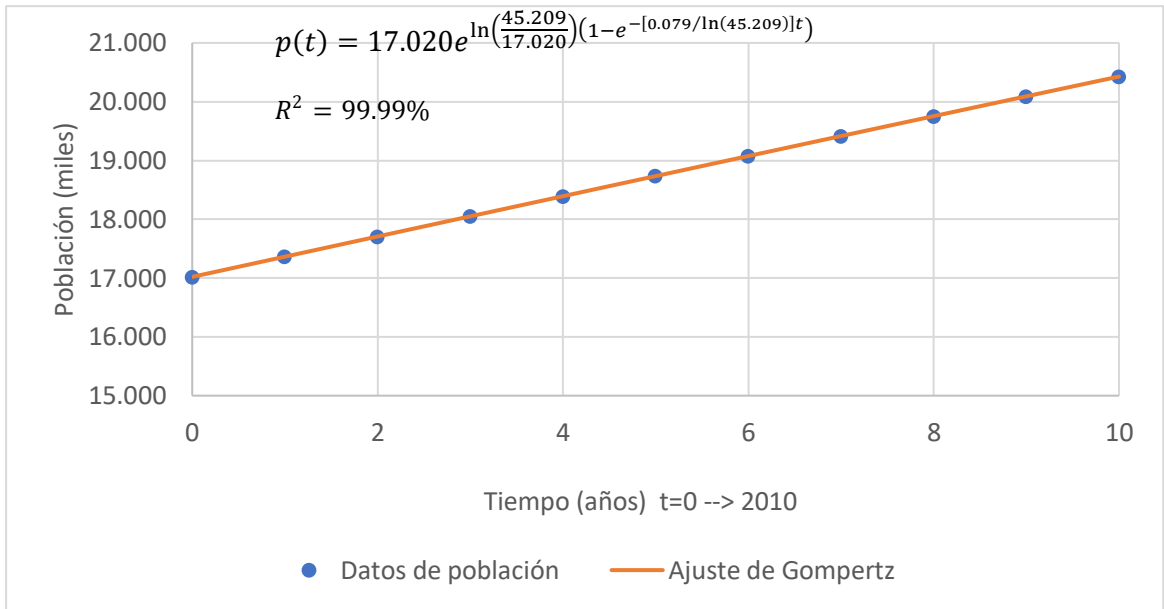
Al tomar $t=0$ como punto inicial, el modelo indica que la población inicial es de 17.020 habitantes, con una discrepancia mínima del 0.004% en comparación con la población real registrada en el año 2010. Esta precisión en la estimación inicial es esencial para la validez del modelo y proporciona una base sólida para las proyecciones futuras.

Además, la curva demuestra un ajuste del 99.99%, lo que subraya la alta precisión del modelo de Gompertz en la representación de los datos poblacionales. Este nivel de precisión respalda la fiabilidad y la utilidad del modelo para prever la evolución futura de la población en el cantón, brindando valiosa información para la planificación y la toma de decisiones en materia de desarrollo. La capacidad de este modelo para capturar con precisión la tendencia poblacional permite a los planificadores y responsables de políticas anticipar cambios demográficos, identificar necesidades y diseñar estrategias que respondan efectivamente a las demandas y desafíos de la comunidad. Esto es especialmente relevante en contextos

donde la planificación a largo plazo es crucial para el desarrollo sostenible y la calidad de vida de los habitantes.

Figura 10

Modelo de ajuste Gompertz.

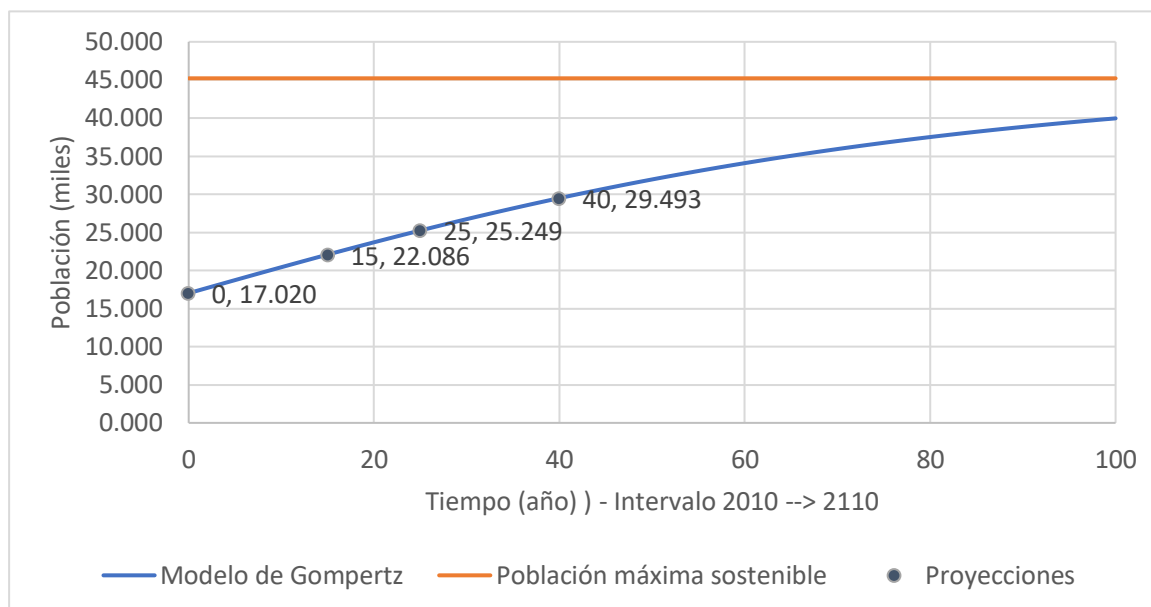


ELABORADO: AUTORA (2024)

La Figura 11 muestra la simulación de la población según el modelo Gompertz en tres horizontes temporales: a corto plazo (5 años), mediano plazo (15 años) y largo plazo (30 años). Este análisis proyecta la evolución demográfica del cantón Quinsaloma bajo el marco del modelo Gompertz. Según el modelo, la proyección a corto plazo para $t=15$, correspondiente al año 2025, estima una población de 22.086 habitantes en el Quinsaloma. resultado refleja un crecimiento poblacional continuo, pero con una tasa de incremento que disminuye gradualmente. Para el mediano plazo, $t=25$, en el año 2035, el modelo Gompertz anticipa una población de 25.249 habitantes. Esta proyección sugiere un crecimiento sostenido, aunque a un ritmo más moderado en comparación con el corto plazo. Finalmente, la proyección a largo plazo para $t=40$, en el año 2050, predice una población de 29.493 habitantes. A largo plazo, el modelo Gompertz sugiere que la población alcanzará un valor límite de 45.209 habitantes. Esto indica que, aunque la tasa de crecimiento poblacional tiende a disminuir, el cantón Quinsaloma aún podría experimentar un aumento significativo en su población en el futuro.

Figura 11

Simulación de la población máxima sostenible del Modelo Gompertz.



ELABORADO: AUTORA (2024)

Es crucial resaltar que en el punto temporal $t=13$, correspondiente al año 2024, se evidencia una notable discrepancia entre la población actual del cantón Quinsaloma, la cual asciende a 19.470 habitantes, y las estimaciones poblacionales conforme al modelo logístico 21.746 y al modelo de Gompertz 21.758. Esta disparidad puede comprenderse dentro del contexto nacional, dado que el INEC anunció el 18 de julio de 2022 que la población de Ecuador había alcanzado los 18.000.000 de habitantes, mientras que en la actualidad se registra una población de 16.938.986 habitantes. La marcada discrepancia de 1.061.014 habitantes se atribuye, en parte, a la reciente ola migratoria generada en los últimos dos años debido a los desafíos socioeconómicos que afronta el país.

4.1.2. OE 2: Proyectar el impacto ambiental de la población en el cantón Quinsaloma.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos tras ingresar la información de las encuestas en el calculador de Global Footprint Network y tras organizar los datos de la muestra de 377 personas en una matriz en la hoja de cálculo, siguiendo las directrices establecidas en la Tabla 5.

La Tabla 6 muestra que la huella ecológica, medida que cuantifica la presión sobre los recursos naturales, presenta un valor de 10.88 hectáreas globales (hag) por persona. Esta magnitud se desglosa de la siguiente manera: 1.61 hag (15%) correspondientes al consumo

de alimentos; 3.39 hag (31%) en relación con el abrigo; 3.02 hag (27%) vinculados a la movilidad; 1.37 hag (13%) asociados a bienes; y, finalmente, 1.35 hag (12%) asignados a servicios.

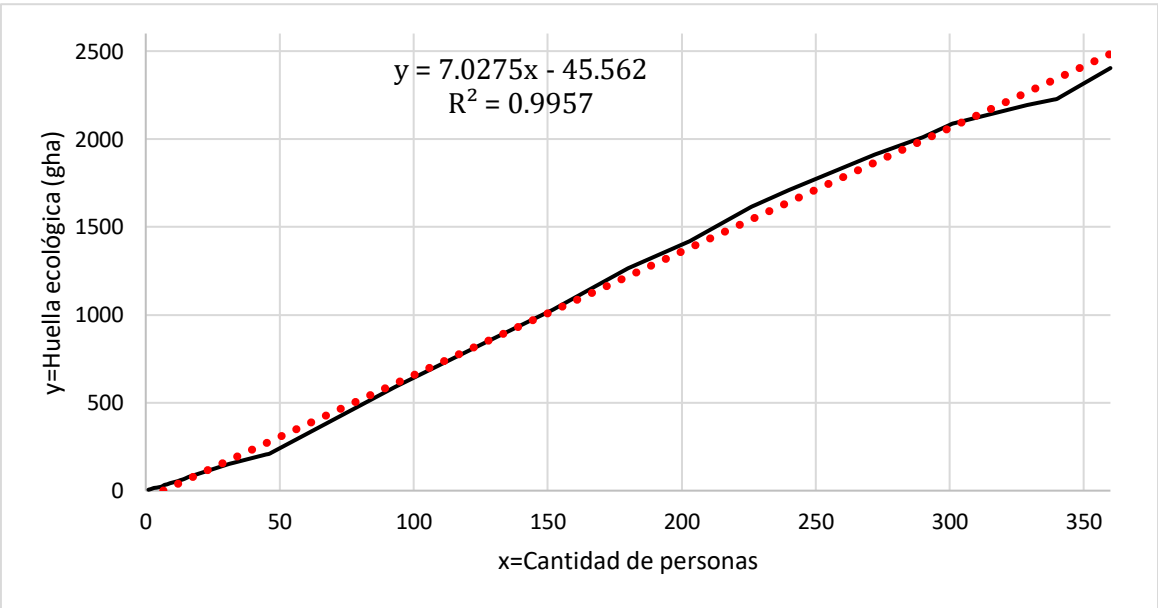
Tabla 6
Registro de huella ecológica de los habitantes del cantón Quinsaloma.

Muestra	Huella Ecológica (gha)							Huella de carbono (tCO _{2eq} /año)		Promedio Necesidad de tierras
	Comida	Abrigo	Movilidad	Bienes	Servicios	Total	Promedio (hag/persona)	Total	Promedio	
377	1.61	3.39	3.02	1.37	1.35	3918.50	10.88	7873	21.87	6.68

ELABORADO: AUTORA (2024)

Por otro lado, la muestra exhibe una huella de carbono de 7873 toneladas de CO₂ equivalente por año (tCO_{2eq}/año), con un promedio de 21.87 tCO_{2eq} por persona al año. Se resalta la notable magnitud de los valores de consumo y emisiones, lo que sugiere que, si todos los habitantes del planeta tuvieran un comportamiento similar al de los Quinsalomeños, se requerirían 6.68 Tierra para satisfacer sus demandas.

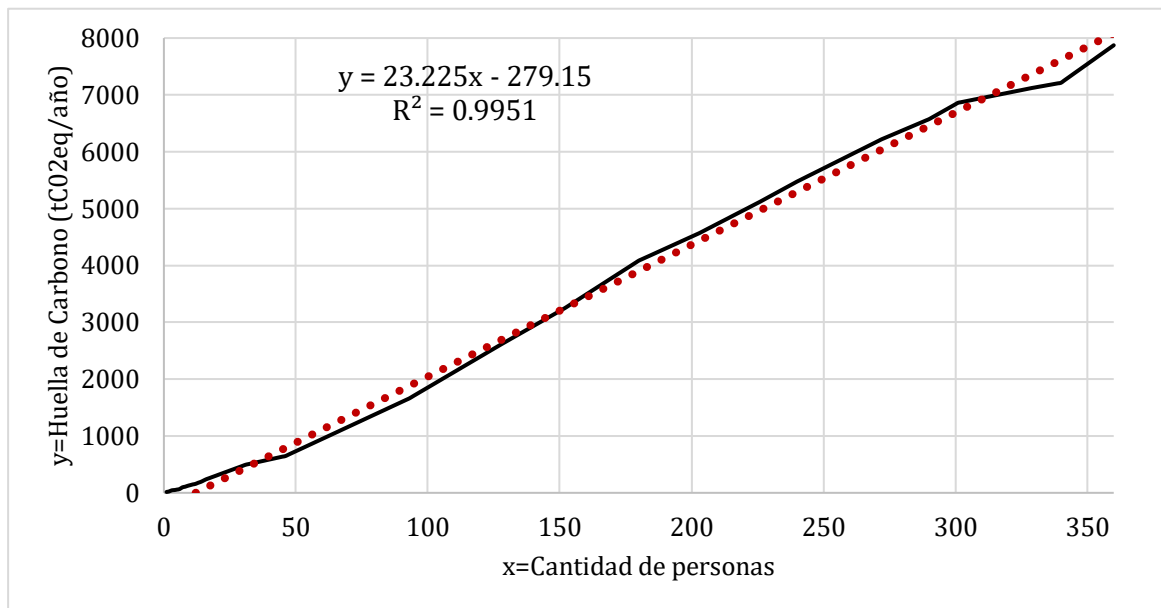
Figura 12
Modelos lineales del aumento de la huella ecológica.



ELABORADO: AUTORA (2024)

Figura 13

Modelos lineales del aumento de carbono.



ELABORADO: AUTORA (2023)

Las Figuras 12 y 13 muestran los gráficos de los modelos lineales que representan el incremento de la huella ecológica y de carbono en función del número de habitantes, ambos con un ajuste del 99%. De acuerdo con el modelo lineal, la tasa de crecimiento de la huella ecológica por persona es de 7.03 hectáreas globales (gha) por persona, mientras que la tasa de crecimiento de la huella de carbono por persona alcanza las 23.225 toneladas de CO₂ equivalente por año (tCO_{2eq}/año).

Por su parte, la Tabla 7 proporciona información relevante para la muestra de 377 personas, donde la afluencia se estima en 10.88 hectáreas globales (gha) por persona y el factor de tecnología es de 2.01 toneladas de CO₂ equivalente por año por hectárea global (tCO_{2eq}/año.gha). Estos valores se calculan aplicando las ecuaciones (7) y (8) para la población de 377 individuos. A partir de estos parámetros, se deduce que el impacto ambiental de esta población es de 7.9 kilotoneladas de CO₂ equivalente (ktCO_{2eq}).

La afluencia se calcula dividiendo la huella ecológica total entre la población total, lo que da como resultado 10.88 gha por persona. Mientras tanto, el factor de tecnología se determina dividiendo las emisiones totales de CO₂ entre la huella ecológica total, lo que resulta en 2.01 tCO_{2eq}/año.gha. Estos parámetros nos permiten evaluar el impacto ambiental de la población, que se estima en 7.9 ktCO_{2eq}, considerando la cantidad de individuos y su

respectiva afluencia y tecnología. Estos datos son fundamentales para comprender el impacto ambiental per cápita y para tomar medidas dirigidas a la reducción de la huella ecológica y las emisiones de CO₂ en la población estudiada.

Tabla 7

Estimación de (gha) por persona y factor de tecnología en toneladas de CO₂ equivalente por año.

	Población	Afluencia (gha)	Tecnología tCO_{2eq}/año.gha	Impacto (ktCO_{2eq})
Muestra	377	10.88	2.01	7.9
Total	19.470	7.03	3.30	451.9

ELABORADO: AUTORA (2024)

No obstante, extrapolando estos cálculos para la población total del cantón, compuesta por 19.470 habitantes, se estima que la afluencia es de 10.88 hectáreas globales (gha) por persona al evaluar el modelo lineal de la Figura 12. Asimismo, al evaluar el modelo lineal de la Figura 13 y dividir entre el producto de la afluencia por la población total, se obtiene un factor de emisión por tecnología de 3.30 toneladas de CO₂ equivalente por año por hectárea global (tCO_{2eq}/año.gha). Estos parámetros sugieren que la proyección actual del impacto ambiental para la población total del Cantón Quinsaloma es de 451.9 kilotoneladas de CO₂ equivalente (ktCO_{2eq}).

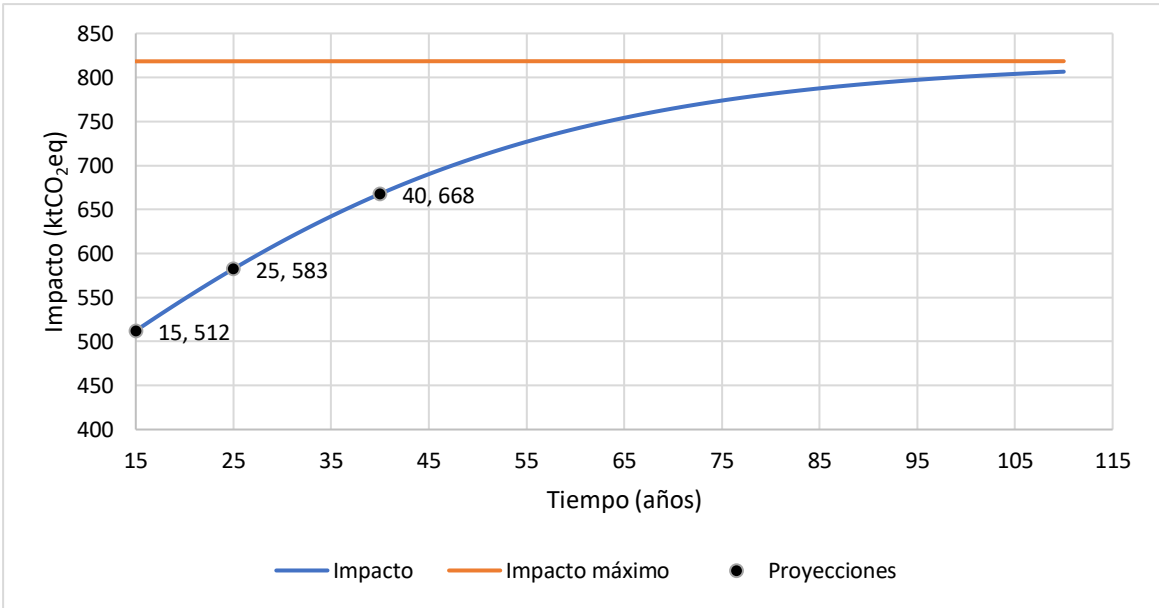
La Figura 14 presenta la proyección del impacto ambiental en el Cantón Quinsaloma a partir de t=15, correspondiente al año 2025, según el modelo logístico. Según el gráfico, la proyección a corto plazo indica un impacto de 512 kilotoneladas de CO₂ equivalente (ktCO_{2eq}). A mediano plazo, para t=25 (2035), se estima un impacto de 583 ktCO_{2eq}, mientras que, a largo plazo, para t=40 (2055), el impacto alcanzaría los 668 ktCO_{2eq}. Se observa en el gráfico que, con el transcurso del tiempo, el impacto tiende a estabilizarse, llegando incluso a un valor asintótico máximo proyectado de 818 ktCO_{2eq}.

Es importante destacar que la tendencia del impacto ambiental sigue la misma dirección que el aumento de la población, lo cual concuerda con el modelo IPAT (Impacto = Población x Afluencia x Tecnología), donde el impacto guarda una relación proporcional con la

población. Los resultados de la Tabla 7 se obtienen mediante la introducción de la ecuación (11), conocida como ecuación IPAT, que relaciona el impacto ambiental con la población, el modelo logístico de población presentado en las Figuras 8, el término de afluencia obtenido al dividir el modelo lineal de huella ecológica entre la población total instantánea, y el factor de emisión de tecnología resultante de dividir el modelo lineal de huella de carbono entre el producto de la afluencia por la población instantánea. Estos resultados resaltan la importancia de considerar la interacción entre la población, el nivel de consumo y las tecnologías empleadas para comprender y abordar los desafíos ambientales globales, como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad. Además, sugieren la necesidad de políticas que promuevan la eficiencia energética, el uso sostenible de recursos y la adopción de tecnologías limpias para mitigar el impacto ambiental per cápita y alcanzar un desarrollo más sostenible a nivel mundial.

Figura 14

Proyección del modelo Logístico para el impacto ambiental máximo en el Cantón Quinsaloma.



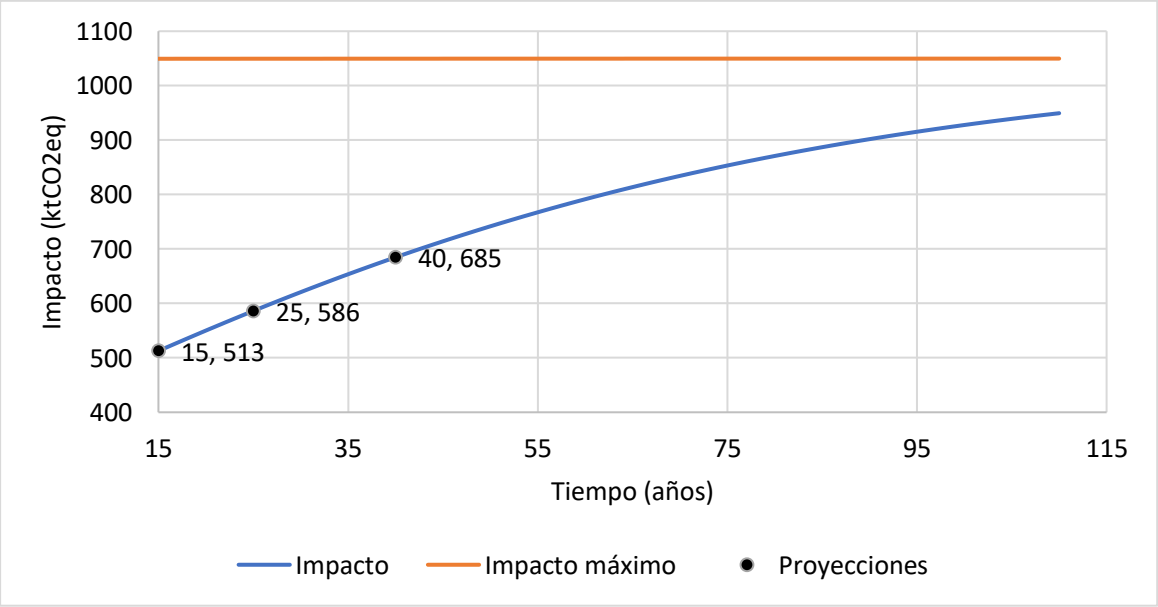
ELABORADO: AUTORA (2024)

La Figura 15 presenta la proyección del impacto ambiental en el Cantón Quinsaloma a partir de $t=15$, correspondiente al año 2025, según el modelo de Gompertz. Conforme al gráfico, la proyección a corto plazo muestra un impacto de 513 kilotoneladas de CO₂ equivalente (ktCO_{2eq}). A mediano plazo, para $t=25$ (2035), se estimaría un impacto de 586 ktCO_{2eq}, mientras que, a largo plazo, para $t=40$ (2055), se proyecta un incremento a 685 ktCO_{2eq}.

Observamos en el gráfico que a medida que transcurre el tiempo, el impacto tiende a alcanzar un estado estacionario, incluso llegando a un valor máximo asintótico proyectado de 1050 ktCO_{2eq}.

Además, los resultados de la Tabla 7 se generan al ingresar en la ecuación (11), conocida como ecuación IPAT, el modelo de Gompertz de población presentado en las Figuras 10, el término de afluencia obtenido al dividir el modelo lineal de huella ecológica entre la población total instantánea, y el factor de emisión de tecnología, que resulta de dividir el modelo lineal de huella de carbono entre el producto de la afluencia por la población instantánea. Estos hallazgos subrayan la importancia de comprender la dinámica entre la población, el consumo y la tecnología para abordar los desafíos ambientales globales. Es esencial implementar políticas que fomenten la eficiencia y la sostenibilidad en el uso de recursos, así como la adopción de tecnologías limpias, para reducir el impacto ambiental per cápita y avanzar hacia un desarrollo más equitativo y sostenible a nivel mundial.

Figura 15.
Proyección del modelo de Gompertz para el impacto ambiental máximo en el Cantón Quinsaloma.



ELABORADO: AUTORA (2024)

Hay que destacar que en la Tabla 8, se proporciona un resumen comparativo de las proyecciones realizadas por ambos modelos. Donde se evidencia que el modelo de Gompertz arroja resultados ligeramente superiores en comparación con el modelo logístico, mientras

que el tiempo necesario para alcanzar el estado estacionario es mayor en el caso del modelo de Gompertz en comparación con el modelo logístico. Esta disconformidad puede atribuirse a las diferencias en la naturaleza matemática inherente a cada uno de los modelos.

Tabla 8
Comparación de las proyecciones del modelo logístico con el modelo de Gompertz.

Proyección	Año	t	Modelo Logístico	Modelo de Gompertz
			Impacto (ktCO _{2eq})	Impacto (ktCO _{2eq})
Corto	2025	15	512	513
Mediano	2035	25	583	586
Largo	2050	40	668	685

ELABORADO: AUTORA (2024)

En definitiva, se enfatiza que el impacto ambiental no puede crecer continuamente según las proyecciones presentadas. Este límite se debe a que la población no puede expandirse sin límites; a medida que aumenta el número de personas, se experimenta una reducción en la disponibilidad de tierras y recursos para satisfacer las necesidades ambientales de todos los habitantes del cantón Quinsaloma.

4.1.3. OE 3: Comparar el impacto ambiental proyectado de la población del Cantón Quinsaloma a nivel nacional y con algunas regiones a nivel mundial.

La comparación del impacto ambiental proyectado de la población del Cantón Quinsaloma a nivel nacional y con algunas regiones a nivel mundial es crucial para comprender su posición en el contexto global de sostenibilidad ambiental. Este estudio permitirá analizar las emisiones de CO₂ en Ecuador, así como en algunas regiones del mundo, correspondientes al año 2022, proporcionando una visión detallada del impacto ambiental del Cantón en comparación con otras áreas tanto a nivel nacional como internacional.

Al comparar las emisiones de CO₂ del Cantón Quinsaloma con las de Ecuador y otras regiones del mundo, se podrán identificar las áreas que requieren mayor atención en términos de reducción de emisiones y adopción de prácticas sostenibles. Esta comparación también ayudará a contextualizar la contribución del Cantón Quinsaloma al panorama global de emisiones de gases de efecto invernadero y a establecer metas realistas para la mitigación del cambio climático a nivel local.

El análisis de estas emisiones no solo proporcionará información sobre el impacto ambiental del cantón, sino que también permitirá identificar áreas de oportunidad para implementar políticas y programas que promuevan la reducción de la huella de carbono y la adopción de prácticas más sostenibles en sectores clave como la energía, la industria y el transporte.

Además, al considerar las emisiones per cápita, se podrán destacar las diferencias en la contribución individual de cada habitante del cantón, lo que ayudará a sensibilizar a la población sobre la importancia de reducir su impacto ambiental y fomentar cambios de comportamiento hacia estilos de vida más sostenibles.

Tabla 9
Emisiones de CO₂ por habitante a nivel nacional.

Año	Región	Contexto regional		
		Población (Millones)	Emisiones (MtCO ₂ -eq)	Emisiones Totales
			Habitantes	
2022	Ecuador	17.7	2.59	46.107

ELABORADO: AUTORA (2024)

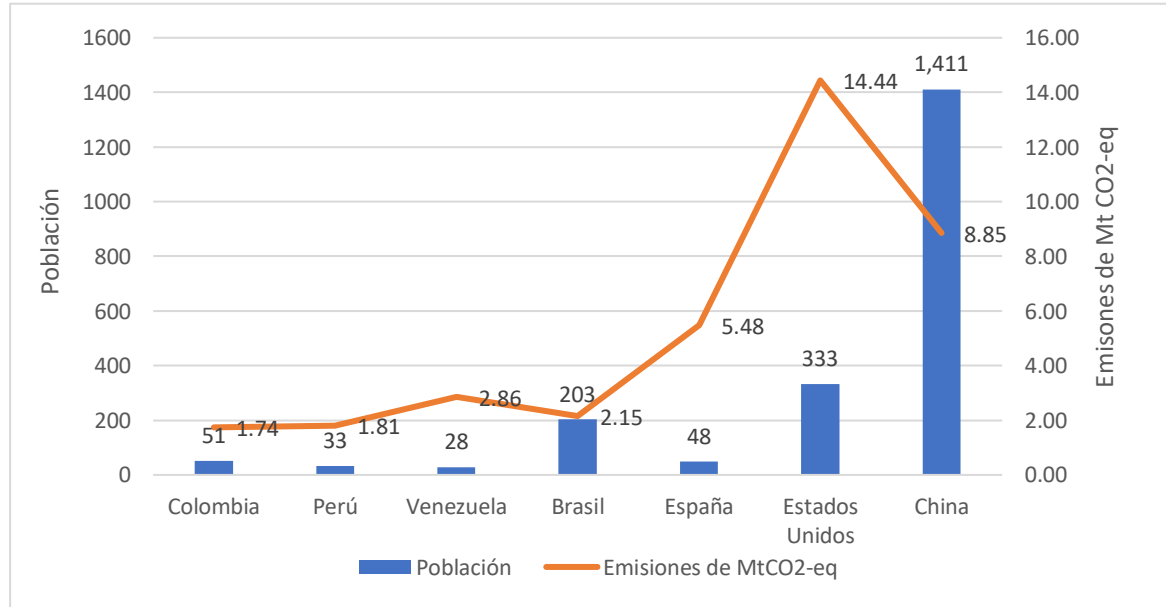
Las tablas 9 y 10 muestran las emisiones de CO₂ y la huella ecológica por habitante a nivel nacional y mundial en el año 2022. En Ecuador, con una población de 17.7 millones de habitantes, se registraron emisiones de 2.59 MtCO₂-eq por habitante y emisiones totales de 46.107 MtCO₂-eq. En comparación, las emisiones totales a corto plazo del cantón Quinsaloma, según el modelo de Logístico y Gompertz, fueron de 0.512 MtCO₂-eq. y 0.513 MtCO₂-eq. Respectivamente. Comparando estas cifras con las emisiones a nivel nacional del año 2022, se observa que las emisiones totales fueron de 0.459 MtCO₂-eq. Por lo tanto, las emisiones del cantón representan el 1.11% del total a nivel nacional, siendo 10 veces mayor que el promedio por habitante a nivel nacional. Esto indica un alto nivel de consumo por habitante en el cantón.

Tabla 10
Emisiones de CO₂ por habitante a nivel mundial.

Contexto Mundial			
Año	Países	Población (Millones)	Emisiones (MtCO2-eq) Habitantes
2022	Colombia	51	1.74
	Perú	33	1.81
	Venezuela	28	2.86
	Brasil	203	2.15
	España	48	5.48
	Estados Unidos	333	14.44
	China	1411	8.85

ELABORADO: AUTORA (2024)

Figura 16
Contexto mundial de las emisiones (MtCO₂-eq).



ELABORADO: AUTORA (2024)

La figura 16 proporciona datos de emisiones de CO₂ por habitante a nivel mundial en el año 2022. Se observa una gran variabilidad entre países en términos de población y emisiones.

China, con una población de 1.411 millones, tiene emisiones de 8.85 MtCO_{2-eq}, lo que equivale a una emisión per cápita relativamente baja de aproximadamente 0.006 MtCO_{2-eq}. Por otro lado, Estados Unidos, con una población de 333 millones, tiene emisiones mucho más altas de 14.44 MtCO_{2-eq}, pero una emisión per cápita de 0.043 MtCO_{2-eq}, lo que sugiere una menor eficiencia en términos de emisiones por persona. Destaca también el caso de España, con una población de 48 millones y emisiones de 5.48 MtCO_{2-eq}, lo que da una emisión per cápita de aproximadamente 0.114 MtCO_{2-eq}, una de las más altas entre los países listados. En general, estos datos muestran la importancia de considerar tanto la población como las emisiones absolutas y per cápita al evaluar el impacto ambiental de cada país y diseñar estrategias para la mitigación del cambio climático a nivel global.

En efecto, al comparar el impacto del Cantón Quinsaloma de 451.9 ktCO_{2eq} con el contexto nacional, tomando como referencia los reportes del balance energético del Ministerio de Energía y Minas (MEM) para el 2022, donde Ecuador emitió 41.496 megatoneladas de gases de efecto invernadero (GEI) (Balance Energético Nacional, 2022), se observa que el impacto del Cantón Quinsaloma representaría aproximadamente el 1.49% a escala nacional. Es relevante destacar, para una mejor comprensión y comparación, que esta cifra de 451.9 ktCO_{2eq} podría visualizarse como la masa de agua de un lago con un volumen aproximado de 451.900 metros cúbicos.

4.2. Discusión de resultados

- La simulación del crecimiento de la población del cantón Quinsaloma bajo diferentes enfoques asintóticos, como los modelos Logísticos y de Gompertz, es esencial para comprender la dinámica demográfica y planificar el desarrollo de la región de manera efectiva. La precisión en la determinación de los parámetros de estos modelos ofrece una visión profunda de cómo evoluciona la población y permite identificar patrones y tendencias significativas. Esta información proporciona una base sólida para proyectar el futuro demográfico y diseñar políticas y programas que se adapten a las necesidades cambiantes de la población. Tan y Xu, (2023), en su investigación ha explorado la aplicación de modelos matemáticos en la predicción del crecimiento poblacional, destacando la importancia de considerar diferentes enfoques y ajustar los parámetros de manera precisa para obtener resultados confiables. Por otro lado, Shibuya et al., (2023), señalo la influencia en la dinámica poblacional, resaltando la necesidad de integrar estos aspectos en los modelos para una planificación más efectiva. Además, la comparación entre los modelos Logístico y de Gompertz en el contexto del cantón Quinsaloma puede ser complementada con estudios similares realizados en otras regiones. Investigaciones como las de Ali et al., (2021), han demostrado la utilidad de estos modelos en diferentes contextos geográficos y han proporcionado información sobre las tendencias demográficas a nivel global.
- La proyección del impacto ambiental de la población en el cantón Quinsaloma es un tema de relevancia crucial en el contexto del desarrollo sostenible y la gestión ambiental. Los resultados obtenidos muestran que, según el modelo logístico y el modelo de Gompertz, el impacto ambiental per cápita se incrementa a medida que aumenta la población, lo que sugiere una relación directa entre el crecimiento demográfico y la presión sobre los recursos naturales y la atmósfera. De acuerdo a Feng et al., (2022), la relación entre el crecimiento de la población y el impacto ambiental, destacando la importancia de políticas que promuevan la eficiencia en el uso de recursos y la mitigación de emisiones. Además, investigaciones realizadas por Uzar (2024), han examinado la influencia de factores socioeconómicos en la huella ecológica, resaltando la necesidad de considerar la equidad y la justicia ambiental en las estrategias de desarrollo. Por último, McNicoll (2015), menciona que la aplicación de la ecuación de IPAT permite proyectar el impacto ambiental futuro, lo

que ayudará a orientar la toma de decisiones y la implementación de políticas sostenibles para mitigar los efectos negativos sobre el entorno natural. Es importante destacar que la limitación de recursos y la capacidad de carga del medio ambiente son factores que deben tenerse en cuenta en cualquier estrategia de desarrollo sostenible. En última instancia, es fundamental para lograr un equilibrio entre el crecimiento demográfico y la conservación del medio ambiente en el cantón Quinsaloma y más allá.

- La comparación del impacto ambiental proyectado de la población del Cantón Quinsaloma a nivel nacional y con algunas regiones a nivel mundial es esencial para comprender su posición en el contexto global de sostenibilidad ambiental. Este estudio permitirá analizar las emisiones de CO₂ en Ecuador, así como en algunas regiones del mundo, correspondientes al año 2022, proporcionando una visión detallada de la huella ambiental del Cantón en comparación con otras áreas tanto a nivel nacional como internacional. En su estudio, Padron (2023) comparo las emisiones de CO₂ per cápita de las regiones del mundo, identificando las áreas que requieren mayor atención en términos de reducción de emisiones y adopción de prácticas sostenibles. Esta comparación también ayudará a contextualizar la contribución al panorama global de emisiones de gases de efecto invernadero y a establecer metas realistas para la mitigación del cambio climático a nivel local. El análisis de estas emisiones no solo proporcionará información sobre el impacto ambiental, sino que también permitirá identificar áreas de oportunidad para implementar políticas y programas que promuevan la reducción de la huella de carbono y la adopción de prácticas más sostenibles en sectores clave como la energía, la industria y el transporte. Además, al considerar las emisiones per cápita, se podrán destacar las diferencias en la contribución individual de cada habitante, lo que ayudará a sensibilizar a la población sobre la importancia de reducir su impacto ambiental y fomentar cambios de comportamiento hacia estilos de vida más sostenibles.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En la presente investigación sobre el Aplicación de la ecuación IPAT Para la proyección del Impacto Ambiental en el cantón Quinsaloma, Provincia Los Ríos-Ecuador se concluye que:

- La simulación del crecimiento poblacional en el cantón Quinsaloma mediante modelos logísticos y de Gompertz ha proporcionado una valiosa perspectiva sobre las tendencias demográficas a corto, mediano y largo plazo. Los análisis numéricos, respaldados por datos recopilados y ajustes precisos, revelan proyecciones coherentes con la capacidad máxima sostenible del área. Sin embargo, es importante destacar una discrepancia significativa entre las estimaciones del modelo y la población actual del cantón en el año 2024. Estos hallazgos subrayan la necesidad de considerar factores locales, variables macroeconómicas y sociales al abordar las proyecciones demográficas y planificar el desarrollo sostenible de la región. Además, es fundamental reconocer que las proyecciones demográficas no solo deben basarse en datos históricos y modelos matemáticos, sino que también deben tomar en cuenta las realidades dinámicas interna y externa, así como las políticas gubernamentales y el desarrollo económico local. Este enfoque integral permitirá una planificación más precisa y efectiva para satisfacer las necesidades presentes y futuras de la población de Quinsaloma, garantizando así un crecimiento sostenible y equitativo en la región.
- La proyección del impacto ambiental en el Cantón Quinsaloma, mediante modelos logísticos y de Gompertz, revela una perspectiva integral sobre las implicaciones de la población en el entorno. Los resultados muestran que la huella ecológica por persona y las emisiones de carbono son significativas, destacando la necesidad urgente de abordar las demandas ambientales. Se estima que el impacto ambiental total para la población actual del cantón es considerable, representando un desafío significativo para la sostenibilidad a largo plazo. La comparación entre los modelos logístico y de Gompertz proporciona información relevante sobre las tendencias futuras, resaltando la importancia de considerar diversas variables en la planificación ambiental. Además, es fundamental reconocer que este impacto no solo afecta el entorno local, sino que también tiene implicaciones a nivel regional y global, especialmente en términos de biodiversidad y cambio climático. En última instancia,

es crucial destacar que el crecimiento del impacto ambiental no puede ser sostenible indefinidamente, ya que está limitado por la disponibilidad finita de recursos naturales. Esto subraya la urgencia de implementar medidas para garantizar el equilibrio entre el desarrollo humano y la preservación del medio ambiente en el Cantón Quinsaloma.

- En conclusión, la comparación del impacto ambiental proyectado de la población del Cantón Quinsaloma a nivel nacional y con algunas regiones a nivel mundial es crucial para comprender su posición en el contexto global de sostenibilidad ambiental. Este estudio proporciona una visión detallada de la huella ambiental del Cantón en comparación con otras áreas tanto a nivel nacional como internacional. Al comparar las emisiones de CO₂ per cápita del Cantón Quinsaloma con las de Ecuador y otras regiones del mundo, se pueden identificar las áreas que requieren mayor atención en términos de reducción de emisiones y adopción de prácticas sostenibles, así como establecer metas realistas para la mitigación del cambio climático a nivel local.

5.2. Recomendaciones

Con base a los resultados obtenidos en la investigación se recomienda lo siguiente:

- Se propone el uso efectivo de modelos asintóticos para proyectar el crecimiento poblacional en el cantón Quinsaloma se requiere de una actualización constante, considerando la información demográfica más reciente y ajustando los parámetros según sea necesario para garantizar la precisión de las proyecciones en un entorno cambiante. Además, es crucial reconocer y comunicar las incertidumbres asociadas con estos modelos, incluyendo factores externos que podrían influir en el crecimiento poblacional, para facilitar una toma de decisiones informada. Es esencial complementar el análisis con enfoques cualitativos y la participación comunitaria, integrando múltiples perspectivas en el proceso de planificación para asegurar la holística y la adecuación cultural de las políticas y estrategias. Finalmente, establecer un sistema de monitoreo y evaluación continuos permitirá revisar y ajustar las acciones implementadas, garantizando su efectividad y alineación con los objetivos de desarrollo sostenible y el bienestar a largo plazo de la comunidad.
- Se recomienda desarrollar e implementar políticas y programas que promuevan prácticas más sostenibles en todas las áreas de la vida cotidiana. Estas iniciativas deben incluir campañas de educación y concienciación dirigidas a informar a la población sobre la importancia de reducir la huella ecológica y las acciones que pueden tomar a nivel individual y comunitario para lograrlo. Además, es crucial establecer un sistema de monitoreo y evaluación continuos para seguir de cerca el progreso en la implementación de estas medidas y ajustarlas según sea necesario. Promover la investigación y la innovación en áreas relacionadas con la reducción de la huella ecológica también es fundamental para encontrar soluciones más eficientes y efectivas para los desafíos ambientales que enfrenta el cantón Quinsaloma.
- En consecuencia, se recomienda que el Cantón Quinsaloma continúe monitoreando y evaluando su impacto ambiental, así como implementando medidas específicas

para reducir su huella ecológica y promover prácticas sostenibles a nivel local. Esto puede incluir la adopción de políticas que fomenten el uso de energías renovables, la promoción del transporte público y la movilidad sostenible, así como la implementación de programas de educación ambiental para sensibilizar a la población sobre la importancia de reducir su impacto ambiental. Además, es crucial establecer colaboraciones a nivel nacional e internacional para compartir mejores prácticas y trabajar en conjunto hacia la mitigación del cambio climático y la preservación del medio ambiente.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía

- Ahmad, M., Jiang, P., Majeed, A., Umar, M., Khan, Z., Muhammad, S., y Muhammad, S. (2020). The dynamic impact of natural resources, technological innovations and economic growth on ecological footprint: An advanced panel data estimation. *Resources Policy*, 69(101817). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101817>
- Ali, A., Hussain, M., Ghaffar, A., Ali, Z., Nisar, K. S., Alharthi, M., y Jamshed, W. (2021). Numerical simulations and analysis for mathematical model of avascular tumor growth using Gompertz growth rate function. *Alexandria Engineering Journal*, 60(4), 3731-3740. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.02.040>
- Anggreini, D., Nur Afifah, D. S., Hayuhantika, D., Hastari, R. C., y Puspasari, R. (2019). Population Projection Using The Implementation of Differential Equation of Logistic Models. *EULD*, 13. https://www.academia.edu/69221853/Population_Projection_Using_The_Implementation_of_Differential_Equation_of_Logistic_Models
- Balance Energético Nacional. (2022). *Ministerio de Energia y Minas*. https://www.celec.gob.ec/wp-content/uploads/2023/08/Balance-Energetico-Nacional-BEN-2022_.pdf
- Bongaarts, J. (1992). Population Growth and Global Warming. *Population and Development Review*, 18(2), 299-319. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/1973681>
- Cendra Garreta, J., y Stahel, A. W. (2007). Hacia una construcción social del desarrollo sostenible basada en la definición de sus dimensiones y principios, articulados a partir de la ecuación IPAT. Aproximación a sus implicaciones y debates. *Revista Internacional de Sostenibilidad y Humanismo*. <http://hdl.handle.net/2099/2551>
- Chapra, S. C., y Canale, R. P. (2007). *Métodos numéricos para ingenieros* (Quinta ed.). (P. E. Vázquez, Ed.) Mexico: The McGraw-Hill Companies. <http://artemisa.unicauca.edu.co/~cardila/Chapra.pdf>
- Datosmacro. (2022). *Emisiones de CO2. Energía y medio ambiente*: <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2>
- Feng, T., Zhou, H., Qiu, Z., y Kang, Y. (2022). Impacts of demographic and environmental stochasticity on population dynamics with cooperative effects. *Mathematical*

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mbs.2022.108910>

- Gompertz, B. (1825). On the nature of the function expressive of the law of human mortality; and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 115(27), 513-583. <https://www.jstor.org/stable/107756>
- Grande Vidal, J. M. (Abril de 2010). *Modelo logístico de crecimiento parabólico denso-dependiente: Un nuevo enfoque de modelación y simulación de la dinámica de poblaciones bajo condiciones de explotación pesquera*. Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías de la Universidad Veracruzana: <https://www.uv.mx/veracruz/mep/files/2012/10/TESIS-GRANDE-VIDAL-2010.pdf>
- Hayes, A. (2022). *Demographics: How to Collect, Analyze, and Use Demographic Data*. Investopedia: <https://www.investopedia.com/terms/d/demographics.asp>
- Huang, Z., y Jin, G. (2024). Navigating urban day-ahead energy management considering climate change toward using IoT enabled machine learning technique: Toward future sustainable urban. *Toward future sustainable urban*, 101(105162). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105162>
- INEC. (2010). <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/>
- INEC. (2024). *Inicio - Censo Ecuador*. Censo Ecuador: <https://www.censoecuador.gob.ec/resultados-censo/>
- James, P. (17 de Julio de 2020). *¿Qué es el deficit ecologico? ¡Cuidemos el planeta!* Ecología y Medio Ambiente: <https://cuidemoselplaneta.org/que-es-el-deficit-ecologico/>
- López Arnal, S. (07 de Abril de 2011). *El capitalismo y los límites de la capacidad de regeneración de la biosfera*. Ecología social: <https://rebellion.org/el-capitalismo-y-los-limites-de-la-capacidad-de-regeneracion-de-la-biosfera/>
- MacKellar, F. L., Lutz, W., Prinz, C., y Goujon, A. (1995). Population, Households, and CO2 Emissions. *Population and Development Review*, 21(4), 849-865. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/2137777>
- McLachlan, G. J., Lee, S. X., y Rathnayake, S. I. (2019). Finite mixture models. *Annual Review Of Statistics And Its Application*, 6(1), 355-378. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-statistics-031017-100325>

- McNicoll, G. (2015). IPAT (Impacto, Población, Afluencia y Tecnología). *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition)*, 716-718.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.91045-6>
- Mihelcic, J. R., y Zimmerman, J. B. (2012). Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Sustentabilidad, Diseño. *Alfaomega*, 729.
https://books.google.com.ec/books?id=KNh0EAAAQBAJ&pg=PR7&dq=Ingenier%C3%ADa+Ambiental:+Fundamentos,+Sustentabilidad,+Dise%C3%B1o&hl=es&newbks=1&newbks_redir=1&sa=X&ved=2ahUKEwj73onXluuEAxUBgIQIH TDNAUQ6AF6BAgNEAI
- Molinas, L. (2010). To What Extent is Asian Economic Growth Harmful for the Environment? *The European Journal of Development Research volume* , 22, 118–134. <https://doi.org/https://doi.org/10.1057/ejdr.2009.48>
- Morales, F. C. (2022). *Huella ecológica*. Economipedia.:
<https://economipedia.com/definiciones/huella-ecologica.html>
- Mrdjenovic, T. (2023). Dataset on Bac settlement stakeholders' perspectives on integrative urban design play as an instrument for managing wicked urban regeneration issues in sustainable way. *Data in Brief*, 50(109562).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109562>
- Naciones Unidas. (2022). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- National Geographic. (4 de August de 2023).
https://www.nationalgeographic.com.es/medio-ambiente/tierra-deficit-ecologico-sobrecapacidad-2023_20497. National Geographic España:
https://www.nationalgeographic.com.es/medio-ambiente/tierra-deficit-ecologico-sobrecapacidad-2023_20497
- Ness, G. D. (1998). *Población y estrategias para el desarrollo nacional sostenible : una guía para el diseño de políticas nacionales que articulen la población y el medio ambiente en estrategias para el desarrollo sostenible*. UNM Digital Repository.:
https://digitalrepository.unm.edu/abya_yala/268/
- Network, Global Footprint. (2019). Global Footprint Network. *PARTNERSHIP DETAILS*, 1-10.
https://doi.org/http://www.truevaluemetrics.org/DBpdfs/Metrics/GFN_Partnership_Details_2009.pdf

- Onyido, M. A., Salako, R. B., Uba, M. O., y Udeani, C. I. (2024). Asymptotic limits of the principal spectrum point of a nonlocal dispersal cooperative system and application to a two-stage structured population model. *Journal of Differential Equations*, 388, 357-402. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jde.2024.01.007>
- Padron, C. J. (2023). Actualización de la huella de carbono de la Universidad Católica Andrés Bello Sede Montalbán para el año 2022. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 15(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.18272/aci.v15i2.3017>
- PDOT. (2020). Actualización y alineación del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Quinsaloma: <https://quinsaloma.gob.ec/wp-content/uploads/2020/07/PDOT-y-PUGS-QUINSALOMA.pdf>
- Pearl, R., y Reed, L. (1920). On the Rate of Growth of the Population of the United States since 1790 and Its Mathematical Representation. *Proceedings of National*, 6(6), 275-288. <https://doi.org/https://doi.org/10.1073%2Fpnas.6.6.275>
- Presidencia de la República del Ecuador. (2023). *Ecuador entre los 8 países del mundo con baja huella ecológica*. <https://www.presidencia.gob.ec/ecuador-entre-los-8-paises-del-mundo-con-baja-huella-ecologica/>
- Prodanov, D. (2023). Asymptotic analysis of the SIR model and the Gompertz distribution. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 422(114901). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cam.2022.114901>
- Rony, Z. I., Mofijur, M., Hasan, M. M., Rasul, M. G., Jahirul, M. I., Ahmed, S. F., . . . Show , P.-L. (2023). Alternative fuels to reduce greenhouse gas emissions from marine transport and promote UN sustainable development goals. *Fuel*, 338(127220). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.127220>
- Shibuya, K., Shibasaki, R., Kawasaki, T., y Tokuori, T. (2023). Stagnant logistics growth simulation on West African intermodal corridors. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 21(100867). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100867>
- Silva, B. A., Constantino, M., Oliveira, O. S., Lima dos Santos, S. A., Tabak , B. M., y Brito da Costa, R. (2019). New indicator for measuring the environmental sustainability of publicly traded companies: An innovation for the IPAT approach. *Journal of Cleaner Production*, 215, 354-363. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.039>
- Sun, X., y Rasool, Z. (2024). Unlocking the green vault: A comparative analysis on the impact of green financing initiatives in mitigating ecological footprint in Europe.

- Borsa Istanbul Review*, 24(1), 95-105.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bir.2023.10.014>
- Tan, R., y Xu, S. (2023). Urban growth boundary and subway development: A theoretical model for estimating their joint effect on urban land price. *Land Use Policy*, 129(106641). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106641>
- Trauger, D. L., Czech, B., Erickson, J. D., Garrettson, P. R., Kernohan, B. J., y Miller, C. A. (2003). *The Relationship of Economic Growth to Wildlife Conservation* (Vol. 46). Technical Review 03-1. https://doi.org/https://steadystate.org/wp-content/uploads/Trauger_et_al_Tech_Review_Economic_Growth.pdf
- Ulloa Ibarra, J. T. (2013). La modelación matemática como puente entre el conocimiento científico y el matemático. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 14(2). <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n020213/021316.pdf>
- Uzar, U. (2024). The dynamic effect of income distribution, natural resources, and freedom of press on ecological footprint: Theory and empirical evidence for emerging economies. *Resources Policy*, 89(104682). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104682>
- Westreicher, G. (2022). *Población*. Economipedia. : <https://economipedia.com/definiciones/poblacion.html>
- World Bank Open Data. (2021). *Emisiones de gases de efecto invernadero totales (kt de equivalente de CO2)*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.GHGT.KT.CE>
- Yi, S., Abbasi, K. R., Hussain, K., Albaker, A., y Alvarado, R. (2023). Environmental concerns in the United States: Can renewable energy, fossil fuel energy, and natural resources depletion help? *Gondwana Research*, 117, 41-55. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.12.021>
- Yip, P., Zheng, Y., y Wong, C. (2021). Demographic and epidemiological decomposition analysis of global changes in suicide rates and numbers over the period 1990–2019. *Injury Prevention*, 28(2), 117-124. <https://doi.org/https://doi.org/10.1136/injuryprev-2021-044263>
- Yu, X., Geng, Y., Dong, H., Ulgiati, S., Liu, Z., Liu, Z., . . . Sun, L. (2016). Sustainability assessment of one industrial region: A combined method of emergy analysis and IPAT (Human Impact Population Affluence Technology). *Energy*, 107, 818-830. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.04.092>

- Zill, D. (2015). *Ecuaciones diferenciales con aplicaciones de modelado / Dennis Zill*. ((Décima edición.) ed.). Cengage Learning.
https://granatensis.ugr.es/discovery/fulldisplay?docid=alma991014242824604990&context=L&vid=34CBUA_UGR:VU1&lang=es&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=Granada
- Zimmerman, C., Hossain, M., y Watts, C. (2011). Human trafficking and health: A conceptual model to inform policy, intervention and research. *Social Science & Medicine*, 73(2), 327-335.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2011.05.028>

CAPÍTULO VII
ANEXOS

Anexo 1.

Preguntas del calculador de Huella Ecológica Global Footprint Network.

Preguntas	Opciones
1. ¿Con qué frecuencia comes productos pecuarios?	Nunca No Frecuente Ocasionalmente Frecuentemente Muy Frecuente Otros
2. ¿Cuántos de los alimentos que comes son no procesados, no envasados o cultivados localmente?	0% 25% 50% 75% 100%
3. ¿Qué tipo de vivienda describe tu hogar?	Independiente sin agua corriente Independiente con agua corriente Departamento de varios pisos Dúplex/casa adosada/edificio Edificio con 2-4 unidades Condominio de lujo
4. ¿Con qué material está construida tu casa?	Paja/bambú; Ladrillo/cemento Madera Adobe Acero/otro
5. ¿Cuántas personas viven en tu hogar?	1 – 3 4 – 6 7 – 9 10+
6. ¿Cuál es el tamaño de tu casa?	Pequeñito (5m2 - 45m2) Mediano (50m2 - 136m2) Grande (141m2 - 462m2) Gigante (467m2 - 1394m2)
7. ¿Tienes electricidad?	Sí No
8. ¿Qué tan eficiente es tu casa en el consumo de energía?	Poco Promedio Por encima del promedio

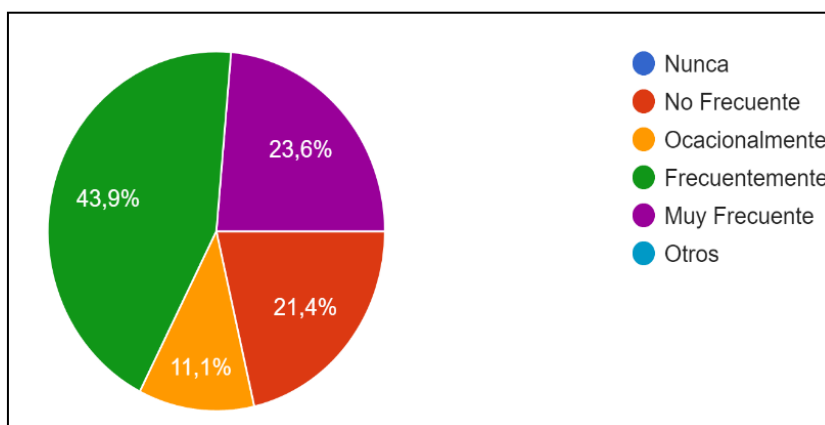
	Diseño centrado en la eficiencia
9. ¿Qué porcentaje de la electricidad de tu casa proviene de fuentes renovables?	Bajo (0%) Mediano (50%) Alto (100%)
10. Comparado con tus vecinos, ¿cuánta basura generas?	Mucho menos Menos Igual Más Mucho más
11. ¿Qué tan lejos viajas en automóvil o motocicleta cada semana?	0 Kms 1 - 50 Kms 60 - 100 Kms 100 - 200 Kms 300 - 400 Kms 500 +
12. ¿Cuál es la economía de combustible promedio de los vehículos que usas con más frecuencia?	Ineficiente (24 litros / 100 Kms) Eficiente o Eléctrico (2 litros / 100kms)
13. Cuando viajas en coche, ¿con qué frecuencia compartes el viaje de auto con otros?	Nunca (0% - 20%); Infrecuentemente (21% - 40%) Ocasionalmente (41% - 60%) Frecuentemente (61% - 80%) Siempre (81% - 100%)
14. ¿Qué distancia viajas en transporte público cada semana?	No tan lejos (0 - 10 Kms) Lejos (11 - 400 Kms) Muy lejos (401 - 800 Kms)

ELABORADO: AUTORA (2024)

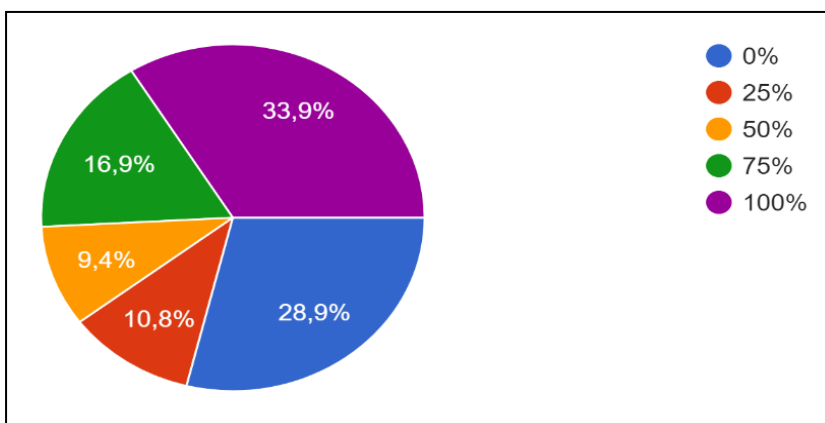
Anexo 2

Porcentajes de consumo proporcionados por el calculador de huella ecológica “Global Footprint Network”.

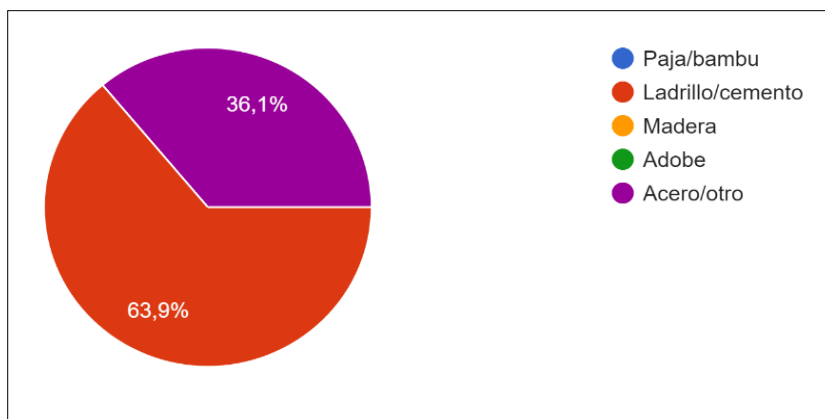
- Frecuencia del consumo de productos pecuarios**



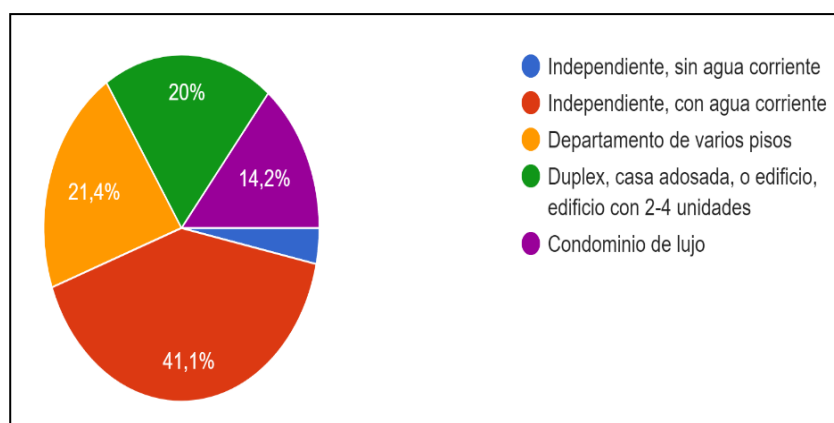
- Porcentajes de los alimentos que consumes son no procesados, no envasados o cultivados localmente.**



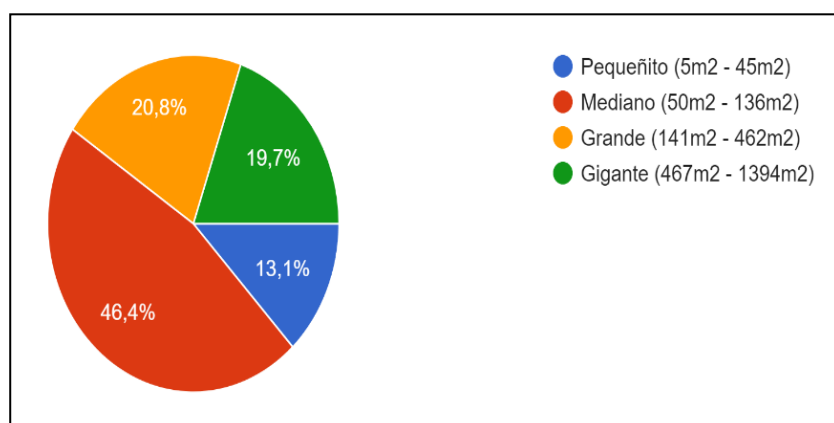
- Descripción del tipo de vivienda**



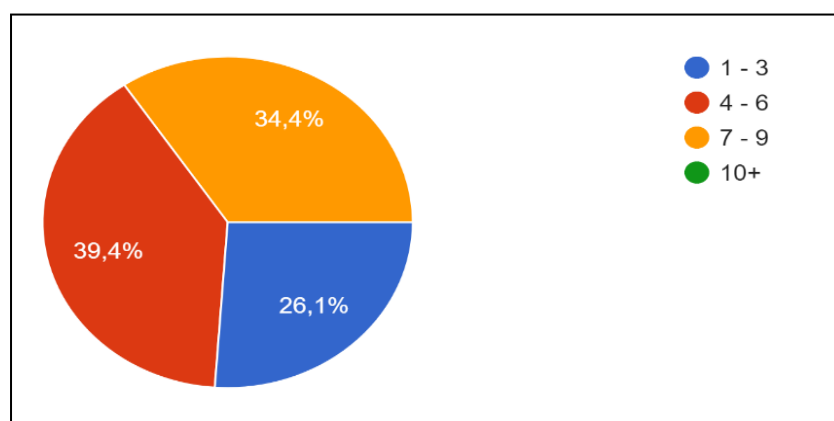
- **Descripción del tipo de material que se construyó la vivienda**



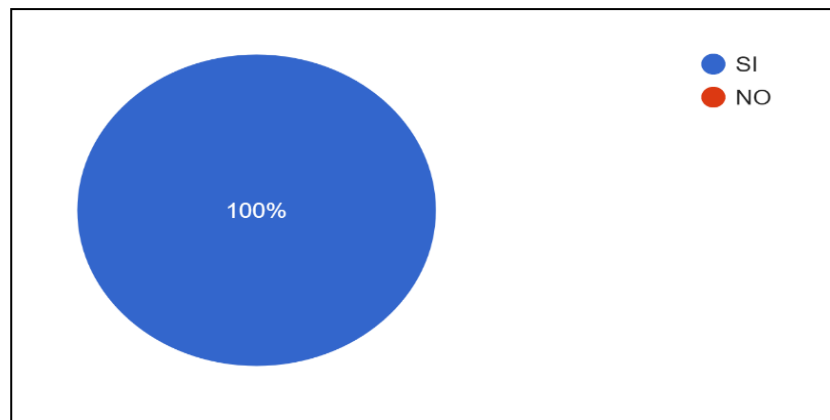
- **Número de personas viven en ese hogar**



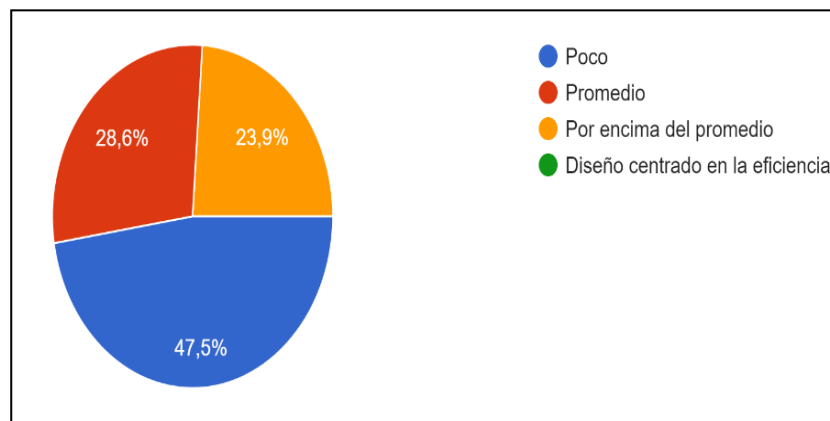
- **Medidas del tamaño de la vivienda**



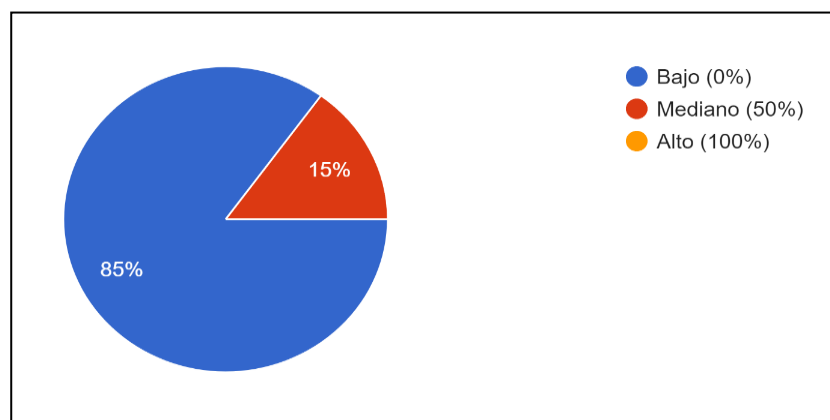
- **Servicios básicos de electricidad**



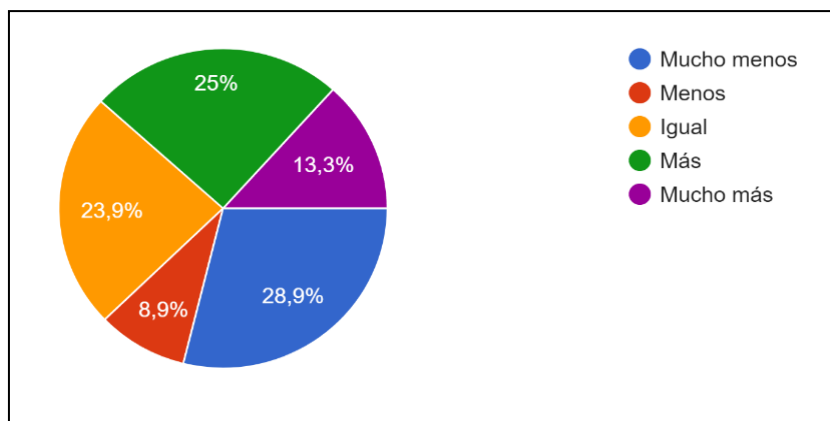
- **Eficiencia del consumo de energía**



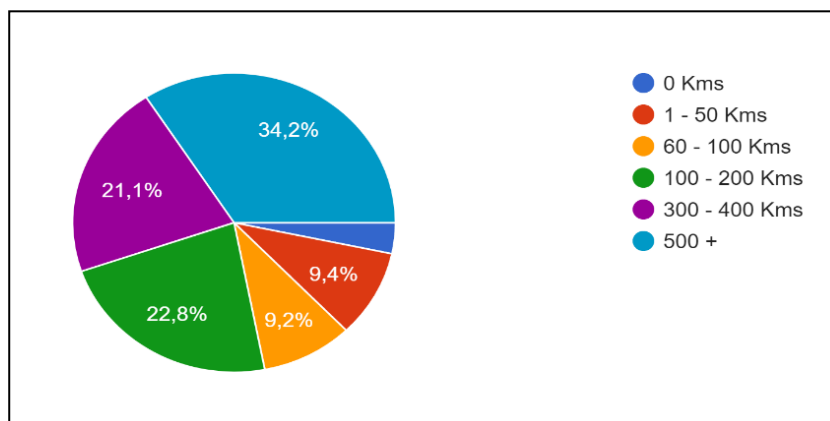
- **Electricidad proveniente de fuentes renovables**



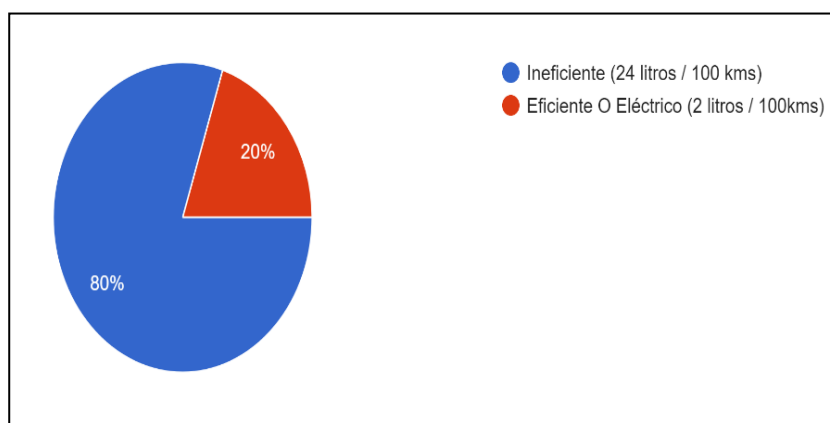
- **Nivel de basura generada**



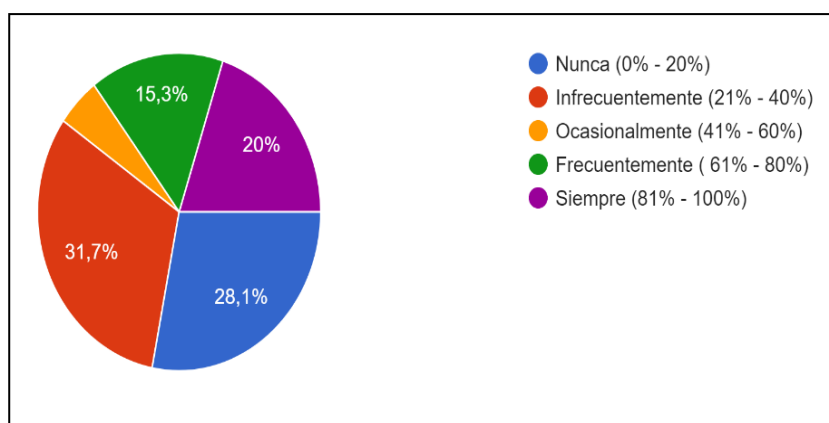
- **Cantidad de viajes en automóvil o motocicleta por semana**



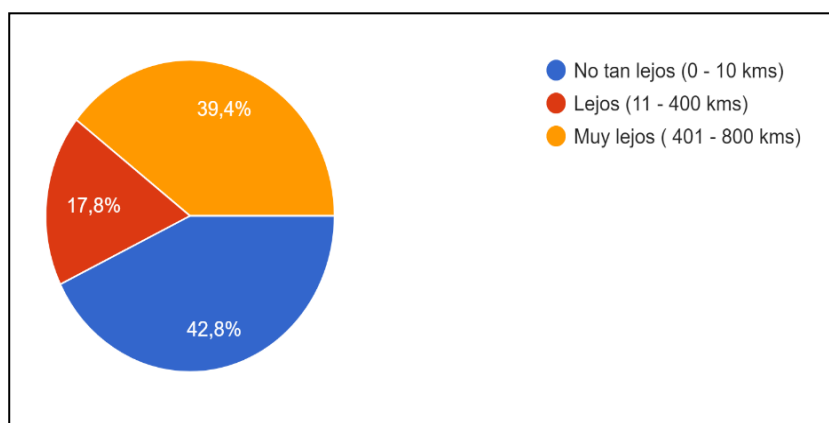
- **Economía del combustible promedio de los vehículos**



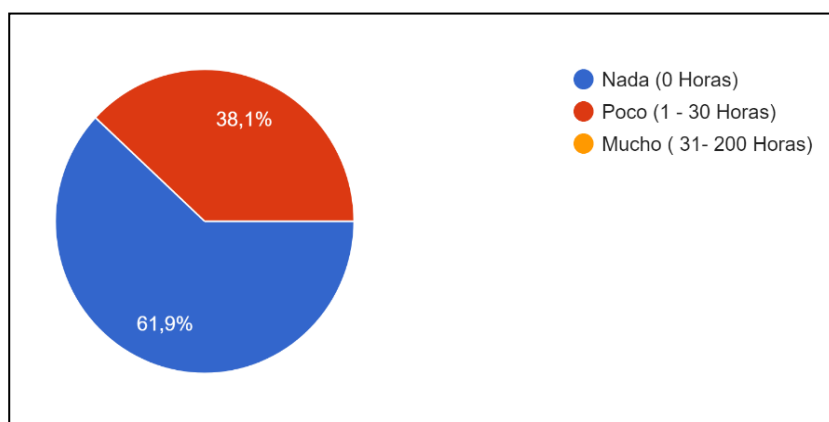
- **Frecuencia de viajes en auto compartidos con otros**



- **Distancia de viajes en transporte público por semana**



- **Distancia de viajes en avión por año**



Anexo 3. Actividades realizadas en la ejecución del proyecto de titulación.

Cronograma de actividades																																								
Aplicación de la ecuación IPAT para la proyección del impacto ambiental del Cantón Quinsaloma, Provincia Los Ríos.																																								
MESES	Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				Marzo			
ACTIVIDAD	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Elaboración del anteproyecto																																								
Correcciones del anteproyecto																																								
Presentación del anteproyecto																																								
Fase de campo del primer objetivo																																								
Desarrollo del primer objetivo																																								
Entrega del primer objetivo para finalizar Titulación 1																																								
Fase de campo del segundo objetivo																																								
Desarrollo del segundo objetivo																																								
Fase de campo del tercer objetivo																																								
Desarrollo del tercer objetivo																																								
Entrega del proyecto de investigación culminado																																								

ELABORADO: AUTORA (2024)