**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**
**FACULTAD DE ECONOMÍA**

**Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Economista**

**Artículo Académico**

# *El horizonte de sostenibilidad: Escenarios para el día de sobregiro de la capacidad regenerativa del Planeta.*

**Marcelo David Borja Montalvo**

**mborja331@puce.edu.ec**

**Directora: Mtr. Mónica Mancheno**

**Quito, junio de 2024**

# *Agradecimientos*

A mi familia, por estar siempre presente.

Al profesor Miguel Acosta, por su guía académica.

# *Resumen*

Esta investigación analiza el horizonte de sostenibilidad del planeta mediante la proyección de escenarios para el día de sobregiro de la capacidad regenerativa de la Tierra, fecha en que la demanda de recursos naturales por parte de la humanidad excede la biocapacidad regenerativa de la Tierra para ese año. Usando el concepto de Huella Ecológica, el estudio cuantifica la demanda de recursos naturales y su impacto en la biocapacidad global para el año 2022. Se abordan factores críticos como el crecimiento demográfico, los hábitos de consumo, y el cambio climático, evaluando cómo estos influyen en la fecha en la que la humanidad supera la capacidad regenerativa anual del planeta. A través de un modelo de proyección, se exploran distintas trayectorias posibles bajo escenarios de variación en el consumo y la población a nivel regional y global. Los resultados subrayan la urgencia de implementar estrategias sostenibles para mitigar el déficit ecológico, promover una economía de bajo carbono y conservar la biodiversidad. Esta investigación proporciona una base empírica para diseñar políticas y acciones que aseguren la regeneración y disponibilidad de recursos naturales a largo plazo, contribuyendo a la resiliencia del clima y la habitabilidad del planeta para las futuras generaciones.



***Palabras clave:*** Huella Ecológica, Déficit Ecológico, Día de Sobregiro, Consumo de Recursos, Biocapacidad.



# *Abstract*

This research analyzes the sustainability horizon of the planet by projecting scenarios for Earth Overshoot Day, the date on which humanity's demand for natural resources exceeds Earth's regenerative biocapacity for that year. Using the concept of Ecological Footprint, the study quantifies the demand for natural resources and its impact on global biocapacity for 2022. Critical factors such as population growth, consumption patterns, and climate change are addressed, evaluating how this influences the date when humanity surpasses the Earth's annual regenerative capacity. Through a projection model, various possible trajectories are explored under scenarios of varying consumption and population levels at regional and global scales. The results emphasize the urgency of implementing sustainable strategies to mitigate the ecological deficit, promote a low-carbon economy, and conserve biodiversity. This research provides an empirical basis for designing policies and actions that ensure the long-term regeneration and availability of natural resources, contributing to climate resilience and the planet's habitability for future generations.



***Keywords:*** Ecological Footprint, Ecological Deficit, Overshoot Day, Resource Consumption, Biocapacity.

**El horizonte de sostenibilidad: Escenarios para el día de sobregiro de la capacidad regenerativa del Planeta.**

Introducción ..... 5
Marco referencial teórico ..... 8
Marco referencial empírico ..... 10
Metodología ..... 11
Resultados ..... 13
Discusión ..... 22
Conclusiones ..... 24
Referencias ..... 26
Anexos ..... 30

# *Introducción*

La presente investigación aborda el tema de la sostenibilidad ambiental desde la medida de la Huella Ecológica (Ecological Footprint – EF) y el Día del Sobregiro de la Tierra (Earth Overshoot Day). Este concepto, desarrollado por la Global Footprint Network en el año 2006, hace referencia al día del año en que la demanda del consumo de recursos naturales de la población sobrepasa la capacidad de la Tierra para regenerar esos recursos dentro de un año calendario. Usando estos conceptos, se proponen escenarios con los que se exploran posibles variaciones de patrones de consumo y población mundial. Los patrones de consumo son analizados a nivel de país, grupo de países por continente y países agrupados por nivel de ingresos.

La huella de la humanidad en la Tierra se ha vuelto una amenaza para la sostenibilidad. Según Swart et al. (2004), el desafío de la sostenibilidad radica en examinar las posibles trayectorias futuras de los sistemas sociales y ambientales, combinados bajo condiciones de incertidumbre, sorpresa, elección humana y complejidad. A medida que la población mundial aumenta y sus patrones de consumo se intensifican, la generación de huella ecológica aumenta con el consumo de mayor cantidad de superficie global (Swart et al., 2004).

La Organización para la Agricultura y la Alimentación (Food and Agriculture Organization - FAO) informa una pérdida anual de aproximadamente 10 millones de hectáreas de superficie forestal entre 2015 y 2020 (FAO, 2020). Esta pérdida conduce a la destrucción de hábitats críticos para innumerables especies. El Informe Planeta Vivo del Fondo Mundial para la Naturaleza (World Wildlife Fund - WWF) indica una disminución promedio del 68 % en las poblaciones mundiales de vida silvestre desde 1970. Estas reducciones en la biodiversidad afectan la capacidad de recuperación de los ecosistemas (WWF, 2020).

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) proyecta una tendencia al calentamiento, donde las temperaturas promedio globales aumentarán a 1,5 °C en las próximas dos décadas si las tendencias actuales de consumo y emisiones continúan. Este aumento resulta de las actividades humanas, especialmente de la quema de combustibles fósiles que liberan dióxido de carbono ($CO_2$) y otros gases contaminantes a la atmósfera. La temperatura ha aumentado a 1,2 °C, acercándose rápidamente al umbral de 1,5 °C establecido por el Acuerdo de París como límite crítico para evitar impactos climáticos catastróficos. Además, el aumento del nivel del mar, medido sistemáticamente mediante datos satelitales que muestran un aumento promedio de 3,3 milímetros por año desde 1993, exacerba el riesgo de inundaciones en las comunidades costeras y las pequeñas naciones insulares (IPCC, 2023).

El vínculo entre el crecimiento económico y el aumento en las emisiones de $CO_2$, documentado en el estudio de Mardani et al. (2019), que revisó investigaciones publicadas entre 1995 y 2017 en 55 revistas internacionales. Este estudio revela que, de los trabajos revisados, 23 examinaron específicamente la relación directa entre las emisiones de $CO_2$ y el crecimiento económico, subrayando la tendencia de que el aumento en la actividad económica frecuentemente conduce a un incremento en las emisiones de $CO_2$. Adicionalmente, de los mismos trabajos, 46 artículos se enfocaron en cómo el consumo de energía, intrínsecamente vinculado al crecimiento económico, también contribuye a las emisiones de $CO_2$, destacando la interdependencia entre el desarrollo económico, el uso de energía y el impacto ambiental (Mardani et al., 2019).

Se espera que las economías avanzadas experimenten un aumento gradual del crecimiento económico, con una tendencia general ascendente del 1,7 por ciento en 2024 al 1,8 por ciento en 2025. Dentro de este grupo, Estados Unidos anticipa un crecimiento máximo del 2,7 por ciento en 2024. La zona del euro muestra una recuperación del 0,8 por ciento en 2024 y un 1,5 por ciento más sólido en 2025. El Reino Unido y Canadá también muestran crecimiento, y las cifras de Canadá proyectan aumentar notablemente hasta el 2,3 por ciento en 2025 (FMI, 2024).

Por otra parte, se prevé que las economías de mercados emergentes se desaceleren ligeramente desde una tasa de crecimiento del 4,3 por ciento en 2023 al 4,2 por ciento tanto en 2024 como en 2025. En Asia, se prevé que el crecimiento de China disminuya del 5,2 por ciento en 2023 al 4,1 por ciento para 2025, mientras que el crecimiento

de la India, aunque está disminuyendo, sigue siendo fuerte, con un pronóstico del 6,5 por ciento para 2025. Se espera que Rusia, en medio de la categoría más amplia de países europeos emergentes y en desarrollo, experimente una desaceleración significativa del crecimiento para 2025. Brasil y México mostrarán tasas reducidas del 2,2 y 2,4 en 2024 a 2,1 y 1,4 en 2025 respectivamente. En Medio Oriente y Asia Central, se proyecta un aumento sustancial del crecimiento en Arabia Saudita, alcanzando el 6,0 por ciento para 2025. Se espera que África también crezca: el crecimiento de Nigeria disminuirá al 3,0 por ciento para 2025 y el de Sudáfrica se acelerará al 1,2 por ciento (FMI, 2024).

Cafaro et al. (2022) determinó en su estudio que el crecimiento de la población es una causa mayor de la degradación de la biodiversidad. Los hallazgos de su investigación muestran recuperación ecológica en zonas que experimentan reducción de población humana. El análisis de Bergaglio (2017) sugiere un aumento continuo en la población mundial, de 7,3 mil millones en 2015 a 11,2 mil millones para el año 2100, destacando una persistente tendencia de crecimiento demográfico. Según el trabajo de Cleland (2013), Asia representará el 40% del aumento poblacional debido a una base sustancial de jóvenes que mantienen altas tasas de natalidad a pesar de los bajos niveles de fertilidad. Se espera que el África subsahariana, donde las tasas de fertilidad siguen siendo altas, contribuya con alrededor del 46% del crecimiento demográfico. Esta región también presenta una amplia gama de proyecciones demográficas, con una diferencia potencial de 470 millones de personas para mediados de siglo, dependiendo de la implementación de los escenarios alto versus bajo de las Naciones Unidas.

De Araújo et al. (2020) investigó las causas fundamentales de los cambios en las emisiones de CO2 en seis de las principales mega regiones del mundo, que incluyen Estados Unidos, la Unión Europea, India, Rusia, Japón y China, durante el período comprendido entre 1995 y 2009. La investigación reveló un aumento de 1.607 millones de toneladas métricas (Mt) en las emisiones globales de dióxido de carbono (el 27% de las emisiones globales) que se atribuyen al aumento del comercio internacional (De Araújo et al., 2020).

En el resumen del estudio de (De Araújo et al., 2020), se presentó una disminución de 228 millones de toneladas métricas en las emisiones globales de CO2 que se atribuye específicamente a las preferencias de los consumidores. Sin embargo, en las emisiones generales se registró un aumento de 11.890 Mt de CO2 entre 1995 y 2009. Este aumento se observó predominantemente en el sector eléctrico, donde China representó el 50% del total, seguida por la India con un 56% y Rusia con un 55%. En cambio, en Estados Unidos y Europa, fue el sector de servicios el que impulsó en gran medida el crecimiento de las emisiones debido al consumo. Mientras tanto, en Japón, los efectos combinados de los sectores manufacturero y de servicios con uso intensivo de energía fueron responsables del 69% del aumento de las emisiones vinculado a los cambios en el consumo

Para realizar esta investigación, se empleará una metodología basada en el cálculo y análisis de la huella ecológica y la biocapacidad global. Este enfoque permitirá cuantificar el desfase entre el consumo de recursos y la capacidad de regeneración del planeta, facilitando la identificación de los escenarios con mayor consumo de huella ecológica y menor tiempo en llegar al día de sobregiro en el año calendario.

La huella ecológica es un indicador que calcula la cantidad de tierra y agua que necesita una población humana para generar los recursos que utiliza y eliminar los residuos que produce, empleando las tecnologías y métodos de gestión de recursos actuales Wackernagel & Rees (1998). Este enfoque es particularmente eficaz para medir la demanda humana de recursos ecológicos y evaluar si la Tierra puede seguir satisfaciendo estas demandas con su capacidad regenerativa. La huella ecológica se utiliza a menudo para calcular la capacidad ecológica necesaria para sustentar a una población, lo que la convierte en una herramienta para la planificación de la sostenibilidad y el desarrollo de políticas a nivel regional o nacional (Galli et al., 2012).

El cálculo de la huella ecológica incorpora varias categorías de uso del suelo para medir el consumo humano de recursos naturales y la presión que ejerce sobre los ecosistemas de la Tierra. Cada categoría representa un tipo específico de uso de recursos o impacto ambiental. Las tierras de cultivo representan áreas utilizadas para la agricultura. Las tierras forestales se refieren a la tierra necesaria para suministrar productos forestales como

madera, papel y combustible de madera. La captura de la huella de carbono refleja la superficie de tierra necesaria para secuestrar las emisiones de CO2. Esta categoría se ha ampliado para incluir el carbono incorporado en los bienes importados, ofreciendo así una visión más completa de las emisiones de carbono de una nación (Mancini et al., 2016).

La categoría de zonas de pesca cuantifica la población de peces capturados por los humanos. Las tierras de pastoreo abarcan pastos y praderas utilizadas para el ganado, calculando la tierra necesaria para producir alimento para animales y apoyar directamente la cría de ganado. Terrenos edificados, incluye terrenos cubiertos por infraestructura como edificios, carreteras y otras construcciones. Estas categorías combinadas proporcionan una visión exhaustiva de la demanda humana sobre los ecosistemas del planeta (Wackernagel et al., 2002; Wackernagel & Rees, 1998).

El concepto de exceso ecológico ha surgido como una métrica crítica para comprender hasta qué punto las actividades humanas exceden la capacidad de la Tierra para regenerar sus recursos en un año determinado. Este fenómeno, también conocido como Día del Sobregiro de la Tierra, marca el punto en el que el consumo de recursos naturales supera la capacidad del planeta para reponerlos, lo que efectivamente conduce a un déficit en la biocapacidad de la Tierra. La creciente brecha entre la demanda de recursos y la capacidad de la Tierra para suministrarlos está impulsada por una combinación de factores, incluido el rápido crecimiento demográfico, la intensificación de las actividades industriales y el aumento de los patrones de consumo per cápita (Wackernagel & Lin, 2023b, 2023a).

En el trabajo de Wackernagel et al. (2002) se destacó cómo desde la década de 1980, la huella ecológica de la humanidad no sólo ha superado los límites sostenibles, sino que continúa expandiéndose, ejerciendo una presión sobre los sistemas naturales que sustentan la vida. El consumo desmedido de recursos impacta en la fecha de sobregiro en distintas regiones. Las tendencias varían dependiendo de los patrones de consumo y producción a nivel individual y colectivo de cada país (Wackernagel & Lin (2023b, 2023a).

El documento se estructura de la siguiente manera: primero, se expondrá la revisión literaria donde se evidencian empíricamente los estudios de Lee et al. (2021) y Moore et al. (2012) indicando que el consumo humano superó consistentemente la biocapacidad de la Tierra, con casos como Taiwán, donde se necesitarían cuatro Tierras para sostener su nivel de consumo si se aplicara a nivel global. Luego, se detallará el método empleado para la investigación y cómo se ha empleado esta metodología para la creación de escenarios. Finalmente, las conclusiones de esta investigación enfatizan la necesidad urgente de reducir el consumo de recursos principalmente en países de altos ingresos y adoptar prácticas sostenibles en economías emergentes para retrasar la fecha del Día del Sobregiro.

Entre las limitaciones de esta investigación está la extrapolación de la huella ecológica de un grupo de países o una región a la población mundial. Este enfoque hipotético es útil para destacar las diferencias en el consumo y resaltar el reto de la sostenibilidad global; sin embargo, no se toman en cuenta las diferencias en los patrones de producción y la biocapacidad de cada región o grupo de países. Otra limitación son los datos más actuales encontrados a la fecha de la realización de esta investigación son los de 2022. Aunque la metodología de la Global Footprint Network sugiere estimar los resultados de 2024 utilizando los datos más recientes disponibles de 2022, se ha decidido emplear directamente los datos de 2022 para asegurar mayor precisión. Además, la selección de estos escenarios, aunque son representativos, no siempre capturará todas las variables y los patrones de consumo exactos. Por tanto, los resultados deben interpretarse considerando estas limitaciones. Las categorías de superficies globales pueden transformarse en categorías específicas de consumo con la metodología de Matriz de Uso de la Tierra de Consumo (Consumption Land Use Matrix – CLUM), pero se debe contar con una matriz de producción de cada país o región que se quiera analizar, por lo que no se ha realizado esta transformación.

Este artículo tiene como objetivo explorar las implicaciones del exceso ecológico, examinando cómo los diversos patrones de consumo de cada región y país contribuyen a los desafíos de sostenibilidad global. A través de un

análisis detallado de datos de la huella ecológica, el objetivo es proyectar escenarios para estimar y comparar cuándo se sobrepasará la capacidad regenerativa de la Tierra al combinar las variables poblacionales con los patrones de consumo por región y país.

## *Marco referencial teórico*

El concepto de los comunes, desarrollado por Hardin (1968) en "La Tragedia de los Comunes", ofrece una lente crítica para analizar las dinámicas poblacionales y su impacto en los recursos naturales comunes. Este marco teórico, basado en la premisa de que los bienes comunes sin restricciones son susceptibles al sobreuso y la degradación por el interés individual, es un pilar fundamental en los estudios ambientales y de sostenibilidad. Hardin argumenta que la solución a los problemas de sobrepoblación y degradación ambiental no se encuentra en soluciones técnicas sino en un cambio fundamental en la moralidad y las estructuras sociales que rigen la disponibilidad y uso de los recursos comunes (Hardin, 1968).

A través de esta perspectiva, se enfatiza la importancia de la regulación, la gestión colectiva y la responsabilidad compartida para evitar el agotamiento y la degradación de los bienes comunes, subrayando el papel crucial de la educación, la concienciación y el cambio cultural en la promoción de prácticas sostenibles.

En el contexto del desarrollo humano y la conservación del medio ambiente, la tragedia de los comunes se manifiesta en diversos ámbitos, desde la sobreexplotación de los recursos pesqueros y forestales hasta el cambio climático y el deterioro de la biodiversidad. Hardin (1993) resalta la conexión intrínseca entre el comportamiento humano, las decisiones colectivas y el estado de los ecosistemas naturales, ofreciendo un recordatorio constante de las consecuencias de nuestras acciones sobre el planeta y la necesidad imperante de abordar colectivamente los desafíos ambientales para asegurar un futuro sostenible para las generaciones futuras.

La humanidad se encuentra ante el desafío de que los ecosistemas terrestres son incapaces de sostener los actuales niveles de actividad económica y consumo de recursos, y mucho menos incrementar estos niveles. Este crecimiento económico, impulsado en parte por el aumento de la población mundial de 2,5 mil millones en 1950 a 7,95 mil millones en 2022, plantea serias interrogantes sobre la sostenibilidad de nuestras prácticas actuales (Samways, 2022).

Según Dissanayake et al. (2023), se debe comprender la interacción entre el consumo de energía, tanto renovable como no renovable, el crecimiento económico y las emisiones de CO2, observando patrones específicos de consumo energético y sus impactos medioambientales con diferencias marcadas entre economías desarrolladas, en transición y países menos desarrollados.

La importancia de adoptar energías renovables como medio principal para satisfacer las necesidades energéticas también sugiere la necesidad de modificar los hábitos de consumo energético hacia fuentes renovables para mitigar las emisiones de CO2 y promover un desarrollo económico sostenible (Wackernagel & Lin, 2023b).

A medida que se intensifica la conciencia global sobre la sostenibilidad ambiental, metodologías como la Evaluación del Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment - LCA) y la huella ecológica se han vuelto opciones para guiar las prácticas sostenibles en todas las industrias, gobiernos y familias (Finkbeiner et al., 2006; Wackernagel & Rees, 1998).

La Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) es una metodología que analiza y evalúa los impactos ambientales asociados a todas las etapas del ciclo de vida de un servicio, proceso o producto, desde la extracción de las materias primas, producción, distribución, uso, hasta su disposición final o proceso de reciclaje (ISO, 2006). La fortaleza del LCA radica en su análisis cuantitativo detallado que incluye una amplia gama de categorías de impacto

ambiental, como la liberación de gases de efecto invernadero, consumo de energía, agotamiento de recursos y polución del líquido vital. Esta metodología ayuda a identificar los impactos ambientales en cada fase del ciclo de vida del producto, lo que permite a los fabricantes y empresas mejorar el diseño del producto, optimizar el uso de recursos y reducir los residuos (Finkbeiner et al., 2006).

La metodología de la huella ecológica propuesta por Wackernagel & Rees. (1998) proporciona un marco teórico para comprender y medir el impacto humano sobre la Tierra. Al estudiar cómo la energía y la materia se mueven hacia y desde una economía específica, y al traducir estos movimientos en la superficie de tierra o agua que la naturaleza necesita para sustentarlos, la huella ecológica revela cuán dependiente es la humanidad de los ecosistemas naturales (Wackernagel & Lin, 2023a).

La expansión económica convencional, aunque exitosa en ampliar la actividad económica, muestra sus limitaciones de sostenibilidad (Mardani et al., 2019). El incremento de la producción económica ha llevado a la degradación de bosques, suelos, agua, aire y diversidad biológica del planeta, sin resolver las diferencias de ingresos, mejorar significativamente la felicidad de los más acaudalados o satisfacer las necesidades básicas de la población mundial más pobre. Conforme el planeta experimenta una sobrecarga ecológica, el modelo convencional de desarrollo económico se torna contraproducente, deteriorando aún más las condiciones y amenazando la supervivencia humana (Mardani et al., 2019).

Según Sala et al., en un planeta limitado que ha alcanzado su máxima capacidad de carga humana, una sociedad dominada por el individualismo egoísta posee tan poco potencial de sostenibilidad como una situación extremadamente conflictiva. La huella ecológica, entonces, no solo destaca nuestra competencia por los recursos, sino también nuestra capacidad para la cooperación social y la construcción de capital cultural y social, elementos clave para el éxito económico y competitivo de las sociedades (Sala et al., 2015).

Siguiendo con el análisis de la huella ecológica, la investigación de Wackernagel et al. (2004) aborda desafíos conceptuales al calcular series de tiempo de la huella ecológica a nivel nacional y global, resaltando la necesidad crítica de cuantificar la demanda humana sobre el capital natural en contraste con su capacidad para proveer servicios esenciales. El estudio analiza el sobregiro, o "overshoot", como un indicativo de la degradación del capital natural, relacionándola con factores socioeconómicos tales como las tendencias demográficas, el crecimiento económico, la eficiencia en el uso de recursos, y el bienestar económico. Este marco teórico enfatiza la dificultad de identificar límites ecológicos debido a las consecuencias diferidas del agotamiento de recursos, subrayando la importancia de utilizar series temporales para identificar tendencias y facilitar una toma de decisiones orientada a la sostenibilidad. La investigación destaca la urgencia de mitigar la presión sobre el capital natural, exacerbada por el aumento poblacional y el desarrollo económico, para asegurar un futuro sostenible y minimizar el riesgo de conflictos.

La investigación de Wackernagel et al. (2002), proporciona una evaluación crítica de la trayectoria de la demanda humana sobre los recursos naturales a lo largo del tiempo. Este estudio destaca que, desde la década de 1980, la humanidad ha vivido en un estado de "sobregiro ecológico", consumiendo recursos a un ritmo más rápido de lo que la Tierra puede regenerar. Los autores argumentan que en 1999 la humanidad utilizó el equivalente a 1,2 planetas para satisfacer sus necesidades de recursos, lo que indica una explotación insostenible de los recursos naturales que compromete la capacidad regenerativa del planeta.

Este marco de sobregiro ecológico ofrece una perspectiva sobre las consecuencias ambientales de las prácticas económicas actuales. La sobreexplotación de recursos como los combustibles fósiles, la deforestación y la sobre pesca, junto con la emisión de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, están agravando el cambio climático y la reducción de biodiversidad (Wackernagel & Lin, 2023b).

La contribución de Wackernagel y colaboradores al entendimiento de la huella y el sobregiro ecológicos resalta la urgencia de adoptar prácticas de desarrollo sostenible. Estos hallazgos subrayan la importancia de transitar hacia economías de bajo carbono, promover la conservación de la biodiversidad y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos. Asimismo, el estudio enfatiza la necesidad de una contabilidad más amplia que considere no solo los aspectos económicos del desarrollo, sino también sus impactos ambientales y sociales (Wackernagel, 2006).

Por otra parte, el estudio Lin et al. (2018) trasciende el ámbito académico, sirve como una herramienta crítica para la toma de decisiones en política ambiental. Proporciona una base empírica para argumentar a favor de políticas que promuevan la sostenibilidad ambiental, tales como el establecimiento de límites al consumo de recursos, la inversión en tecnologías limpias y la implementación de estrategias de adaptación al cambio climático. En este contexto, la huella ecológica se presenta como un indicador esencial para evaluar el desempeño de las naciones en la gestión de sus recursos naturales y su compromiso con los objetivos de desarrollo sostenible.

## *Marco referencial empírico*

La investigación sobre la huella ecológica y el día del sobregiro evidencia el creciente impacto ambiental del consumo humano en comparación con la capacidad regenerativa de la Tierra. En el estudio de Lee et al. (2021) se realizó una evaluación de la huella ecológica y el día del sobregiro de Taiwán desde el año 2000 hasta 2018. Utilizan datos aproximados para las tasas de conversión y factores equivalentes de la biocapacidad de la Tierra. Esta investigación proporciona un análisis detallado de la disminución de la huella ecológica de Taiwán de 7,69 gha/persona en 2000 a 6,46 gha/persona en 2018.

La relevancia de este estudio se amplifica al considerar el concepto del día del sobregiro, el cual ilustra la fecha en la cual el consumo de recursos naturales de una población excede la capacidad de la Tierra para regenerar esos recursos dentro de un año calendario. Específicamente, revela que el día del sobregiro de Taiwán en 2018 fue el 14 de marzo, sugiriendo que, si toda la población mundial consumiera recursos al ritmo de Taiwán, serían necesarias cuatro Tierras para sustentar dicho consumo. Este hallazgo no solo destaca la intensidad del consumo de recursos en Taiwán, sino que también enfatiza la urgencia de dirigir esfuerzos hacia el desarrollo sostenible y la reducción del consumo. La investigación de Lee et al. (2021) contribuye al cuerpo académico sobre la huella ecológica y la aplicación de la metodología para calcular el día del sobregiro.

El aumento constante en el consumo de recursos naturales por parte de la humanidad ha generado un interés creciente en la medición y análisis de la capacidad regenerativa de la Tierra, conocida como biocapacidad. La investigación de Moore et al. (2012) abordó esta preocupación a través del desarrollo de un marco analítico para proyectar la demanda futura humana en relación con la capacidad regenerativa del planeta, utilizando el concepto de huella ecológica. Este enfoque proporciona una herramienta cuantitativa para evaluar las implicaciones de las actividades humanas en términos de uso de tierras bio productivas, expresadas en hectáreas globales (Global Hectares - gha). La huella ecológica se ha establecido como un indicador integral que mide la demanda humana en comparación con la biocapacidad terrestre, permitiendo así una valoración de la sostenibilidad de nuestras prácticas actuales y futuras. La metodología empleada en este estudio, conocida como el "Calculador de Escenarios de Huella Ecológica", convierte proyecciones de consumo y emisiones en tendencias de huella ecológica y biocapacidad hasta el año 2050. Esta herramienta analítica incorpora una gama de parámetros que abarcan desde la demanda de alimentos hasta las emisiones de CO2, basándose en proyecciones de línea base y escenarios alternativos para evaluar los posibles efectos de distintos cursos de acción. Los resultados del estudio indican que, bajo proyecciones de consumo ampliamente aceptadas, la humanidad estará utilizando recursos y produciendo desechos a 2,6 veces la tasa a la que pueden ser renovados para el año 2050.

A través del análisis de escenarios, Moore et al. (2012) identificaron las posibles trayectorias futuras del consumo humano y la capacidad planetaria, resaltando la importancia de las decisiones políticas y las acciones individuales en la mitigación de los impactos ambientales negativos. Esta investigación subrayó la relevancia de adoptar enfoques basados en escenarios para facilitar el compromiso con diferentes desarrollos futuros en sistemas complejos, intrínsecamente impredecibles y con numerosas incertidumbres asociadas. Este enfoque permite ilustrar una variedad de posibles cambios resultantes de diferentes patrones demográficos, desarrollos económicos y preocupaciones ambientales, mejorando así la capacidad de comprender los efectos del cambio climático o las restricciones de recursos y tener información de las diversas mitigaciones e impactos ambientales que puedan ocurrir.

El estudio de Moore et al. (2012) contribuye al cuerpo de conocimiento sobre sostenibilidad y manejo de recursos, ofreciendo una base sólida para la reflexión y la acción en relación con nuestras prácticas de consumo y producción. Al ilustrar las potenciales inconsistencias en las proyecciones de demanda realizadas por diversas organizaciones y la necesidad de modelos más sofisticados para tener relevancia a nivel nacional, este trabajo resalta la importancia de enfoques integrados y transdisciplinarios para abordar los desafíos de sostenibilidad global. En este contexto, el marco de la huella ecológica se presenta no solo como una herramienta para medir nuestra demanda sobre los recursos naturales, sino también como un mecanismo para fomentar una mayor conciencia y acción hacia un futuro más sostenible.

## *Metodología*

El cálculo y análisis del día de sobregiro de la Tierra, propuesto por (Wackernagel & Lin, 2023a), se establece como el núcleo metodológico de este estudio, enfocándose en la evaluación de la huella ecológica y la biocapacidad global. Según esta metodología, el Día de Sobregiro marca el punto del año en el que el consumo humano supera la capacidad regenerativa del planeta. Esta métrica se calcula dividiendo la biocapacidad del planeta, es decir, la cantidad de recursos ecológicos que la Tierra puede generar en un año, para la huella ecológica de la humanidad y multiplicando el resultado por 365 para encontrar la fecha exacta del Día de Sobregiro (Lin et al., 2018).

$$\left(\frac{Biocapacidad\ de\ la\ Tierra}{Huella\ Ecológica\ de\ la\ humanidad}\right) * 365 = Día\ de\ Sobregiro$$

Este enfoque permite una cuantificación directa del desfase entre el consumo de recursos y la capacidad de regeneración del planeta, facilitando así la identificación de estrategias para mitigar el déficit ecológico. El empleo de esta metodología en la investigación proporciona un marco para evaluar la sostenibilidad de las prácticas actuales y desarrollar propuestas enfocadas en la reducción de la huella ecológica global, alineándose con los esfuerzos para mover la fecha del día de sobregiro a la fecha más tardía del año, como una medida de la efectividad de las intervenciones sostenibles propuestas (Wackernagel & Lin, 2023b).

La Biocapacidad (Biocapacity - BC) es un indicador crucial en estudios de sostenibilidad y gestión de recursos naturales, que refleja la capacidad de los ecosistemas terrestres y acuáticos para generar recursos renovables y asimilar desechos, incluyendo la absorción de dióxido de carbono. Se mide en términos de área productiva necesaria para sostener una determinada actividad humana o población, considerando prácticas de producción y estilos de vida actuales. La biocapacidad se calcula a través de la suma de las capacidades productivas de diferentes tipos de tierras y cuerpos de agua, ajustadas por factores de rendimiento y equivalencia, lo que permite comparar de manera estandarizada la demanda de recursos (huella ecológica) con la oferta natural de los ecosistemas (Moore et al., 2012).

$$BC = \sum i(Ai \times YFi \times EQFi)$$

Donde cada término de expresión representa:

$BC$: Biocapacidad, indica la capacidad total de los ecosistemas considerados para generar recursos renovables y absorber residuos de manera sostenible.

$i$: Índice que representa el tipo de tierra o cuerpo de agua (por ejemplo, tierras de cultivo, pastizales, zonas de pesca, bosques, tierras urbanizadas y tierras para producción de energía).

$Ai$: Área disponible anualmente para producción por cada tipo de tierra i, medida en hectáreas o en una unidad de área equivalente. Esta variable refleja el espacio físico que puede ser utilizado para actividades productivas o para la regeneración de recursos naturales.

$YF_i$: Factor de rendimiento para cada tipo de tierra i, que ajusta la productividad básica de la tierra a la productividad media observada, considerando las prácticas de gestión y las tecnologías utilizadas. Este factor permite comparar con mayor precisión la eficacia con la que diferentes tipos de tierras contribuyen a la biocapacidad total.

$EQFi$: Factor de equivalencia para cada tipo de tierra i, que normaliza la productividad de diferentes tipos de tierras a una base común, permitiendo una comparación equitativa entre ellas. Este factor tiene en cuenta variaciones en la capacidad productiva de diferentes ecosistemas, reflejando cómo algunos tipos de tierras pueden ser intrínsecamente más productivos o valiosos para la generación de recursos y la absorción de desechos.

$$EF_P = \sum \frac{P}{Y_N} \times \mathrm{YF} \times YF \times EQF \times IYF$$

Donde cada variable tiene el siguiente significado:
$EF_P$ (Ecological Footprint): Huella ecológica asociada a un producto o residuo, medida en hectáreas globales (gha). Las hectáreas globales representan el área de tierra productiva necesaria para sostener la producción de un bien o el manejo de un residuo.

$P$: Cantidad de producto extraído o residuo generado, medido en toneladas por año (t yr-1). Esta variable cuantifica el volumen de producción o residuo que necesita ser sostenido por la biocapacidad del planeta.

$Y_N$: (National-average yield): Rendimiento promedio nacional para la extracción de productos o la absorción de residuos, expresado en toneladas por hectárea nacional por año (t nha-1 yr-1). Refleja la eficiencia promedio con la que un país puede producir un recurso o manejar un residuo.

$YF$ (Yield Factor): Factor de rendimiento de un tipo específico de uso de tierra en un país, expresado en hectáreas globales por hectárea nacional (wha nha-1). Ajusta el rendimiento nacional al rendimiento mundial, permitiendo comparaciones internacionales.

$EQF$ (Equivalence Factor): Factor de equivalencia para un determinado tipo de uso de tierra, medido en hectáreas globales por hectárea mundial (gha wha-1). Este factor convierte diferentes tipos de tierras en una medida común, reflejando su valor relativo en términos de capacidad productiva o de absorción de CO2.

$IYF$ (Intertemporal Yield Factor): Factor de rendimiento intertemporal de un tipo específico de uso de la tierra, sin unidades. Considera variaciones en el rendimiento a lo largo del tiempo, permitiendo ajustes por cambios futuros en la productividad.

Para la estimación precisa de la huella ecológica asociada al consumo de bienes y servicios dentro del estudio, se utilizarán datos provenientes de dos fuentes fundamentales: la base de datos proporcionada por la Global Footprint Network y la base de datos de la FAO. La integración de estos conjuntos de datos garantiza un enfoque holístico y riguroso en la medición de la EF y sus proyecciones, asegurando que los cálculos reflejen de manera fiel el impacto ambiental de las actividades humanas.

Para la creación de escenarios, se incluyó distintos niveles de ingresos y patrones de consumo para comprender cómo afectan los distintos estilos de vida al consumo de recursos. El análisis de patrones de consumo permite comprender la dinámica de la economía ya sea de un país o de un grupo de países. Para lograr este objetivo, se han analizado los grupos de países según su ingreso y por continentes, siguiendo la metodología del gasto de consumo de los hogares basado en el PCI (Programa de Comparación Internacional) segmentando patrones de consumo relativamente homogéneos. También se usa la segmentación del PCI por nivel de ingresos bajo esta misma metodología (Oyewole, 1998). Los países que se analizan en este estudio son Qatar, Ruanda y Ecuador. Según los datos de Global Footprint Network (2022), los primeros dos países corresponden al país de mayor y menor consumo respectivamente. El análisis de Ecuador se lo realiza porque es el país donde se encuentra la institución universitaria responsable de esta investigación.

Otro análisis que se realiza en esta investigación es el cálculo aproximado del límite de población mundial que podría vivir en base a determinados hábitos de consumo de huella ecológica para no llegar al límite del día de sobregiro ecológico. Autores como Pękalski & Sznajd-Weron (2001) usaron este tipo de modelos de cambio poblacional para estudiar opciones beneficiosas para la supervivencia de la humanidad, asumiendo reducciones de población.

# *Resultados*

El análisis muestra diferencias en la huella ecológica entre los países del norte y del sur global, evidenciando variaciones en los hábitos de consumo per cápita y en la administración de los recursos naturales. Estas variaciones del consumo generan cambios en el día del sobregiro de la Tierra. Para los grupos de países con mayor consumo, su día de sobregiro es a inicios del año, es decir, el consumo es tan alto que se cae en déficit de biocapacidad en los primeros meses del año. Para los grupos con menor consumo, se llega a un día de sobregiro en los meses finales del año o incluso no se supera la biocapacidad regenerativa de la Tierra en todo el año.

Como parte de los resultados, se analiza la distribución de la huella ecológica para cada escenario propuesto. La medición de la huella ecológica se consideran los siguientes tipos de suelo: Tierras de cultivo, tierras forestales, tierras de absorción de carbono, tierras de pastoreo y tierras urbanizadas o edificadas.

## *Escenario Mundial*

El análisis del escenario mundial muestra el impacto de la huella ecológica humana. Se estableció la población mundial en 7.950 millones de habitantes, población aproximada para 2022. Se generó una huella ecológica promedio per cápita de 2,58 hectáreas globales (gha), definida en la metodología de esta investigación.

El análisis de la huella ecológica revela un escenario donde el día de sobregiro se alcanzaría el 5 de agosto del 2022 (Anexo 1). La distribución por tipo de tierra incluye 0,06 gha para terreno edificado, siendo pequeña en comparación con los otros tipos de tierra que conforman la huella ecológica. Las tierras forestales tienen un valor de 0,26 gha, incluyendo áreas utilizadas para producir madera y otros productos forestales.

Para la categoría de tierras de cultivo, el valor es de 0,48 gha, representando en su mayoría tierras utilizadas en la producción de alimentos vegetales y productos agrícolas en general. Las tierras de pastoreo, con un valor de 0,13 gha, incluye todos los tipos de tierras usadas para la ganadería. Según Ritchie et al. (2019), aunque la huella ecológica de esta categoría es menor en comparación con las tierras de cultivo, su impacto en la huella ecológica total es considerable debido a la baja eficiencia en la producción de alimentos de origen animal en términos de utilización del suelo y liberación de gases nocivos para el medio ambiente.

El componente principal de la huella ecológica promedio mundial es la huella de carbono, con un valor de 1,56 gha, derivado principalmente por el uso de combustibles fósiles para el transporte y generación de energía. De acuerdo con Rice & Garcia (2011), la zona de pesca genera un total de 0,08 gha, representando el área usada para la pesca. Su valor es bajo, pero puede tener consecuencias graves para la biodiversidad marina y seguridad alimentaria (Anexo 2).

En el escenario mundial, para evitar que la biocapacidad regenerativa del planeta llegue al sobregiro y manteniendo los hábitos de consumo promedio a nivel mundial de 2,58 gha, la población mundial debería reducir de 7,95 mil millones a 4,7 mil millones (Anexo 25). En este nuevo escenario, la huella ecológica total se reduciría y mantendría al límite de la biocapacidad regenerativa anual del planeta debido a la disminución de personas. Esta reducción en la población significaría que la demanda sobre recursos como terrenos edificados, tierras forestales, tierras de cultivo y tierras de pastoreo disminuya proporcionalmente, permitiendo así una gestión más sostenible de estos recursos. La huella de carbono, impulsada principalmente por la combustión de combustibles fósiles, también experimentaría una disminución significativa, contribuyendo aún más a no exceder la biocapacidad del planeta.

### *Escenario de países con ingresos altos*

Los países considerados de ingresos altos son aquellos con un Ingreso Nacional Bruto (INB) per cápita mayor a $13.205. En promedio, su Producto Interno Bruto (PIB) es de $49.607. La tasa de pobreza, medida por ingresos inferiores a $2,15 diarios, fue del 0,3% de la población para 2022. La esperanza de vida al nacer es de 80 años. El índice de desempleo fue del 4,5% en 2022, mientras que la inflación alcanzó el 7,2% el mismo año. Además, toda la población de estos países tiene acceso a electricidad (Worldbank, 2022a).

En el escenario hipotético en que toda la población mundial adoptara los patrones de consumo de la población de países con ingresos altos, se observa un adelanto en la fecha del día del sobregiro de la Tierra al 11 de abril del 2022 (Anexo 3). Los datos analizados muestran una huella ecológica per cápita de 5,58 gha. Este dato es indicativo de un consumo intensivo de recursos que es característico de los países de ingresos altos, incluyendo naciones como Estados Unidos, Canadá, Alemania, Francia, países de Europa Occidental y naciones asiáticas desarrolladas como Japón y Corea del Sur, entre otros (Hamadeh & Van Rompaey, 2023).

El componente más significativo es la huella de carbono con 3,44 gha, lo que refleja un uso intensivo de energía fósil, común en estilos de vida asociados con altos ingresos por uso intensivo del transporte en vehículo y viajes aéreos frecuentes. La categoría de refugio muestra un uso intensivo del terreno edificado, estimado en 0,09 gha per cápita. Esto refleja una alta demanda de infraestructura residencial y comercial. La huella en tierras de cultivo (0,94 gha per cápita) y tierras de pastoreo (0,24 gha per cápita) sugiere un consumo considerable de productos agrícolas y cárnicos, que son indicativos de un alto consumo de bienes materiales y alimentos procesados y de origen animal, que requieren extensas áreas de tierra para su producción (Anexo 4). Estos datos concuerdan con

el estudio de Piekut & Piekut (2022) que revelan un aumento en los gastos de consumo en los hogares europeos en categorías alimenticias, mantenimiento de edificaciones y alojamiento del 2004 al 2020.

Según Davis & Caldeira (2010), el 23% de las emisiones de CO2 están relacionadas al comercio internacional. Para 2004, 6,2 gigatoneladas de CO2 fueron generadas debido a exportaciones principalmente desde China hacia otros mercados de países desarrollados como Estados Unidos, Reino Unido, Suiza, entre otros. Estas emisiones dentro de la metodología de la huella ecológica se las contabiliza al consumidor de estos productos (Wackernagel et al., 2004).

Para mantener el consumo de huella ecológica per cápita promedio de 5,58 gha correspondiente a los países con ingresos altos, la población debería reducir de 7,95 mil millones a 2,1 mil millones de personas (Anexo 26). Este escenario hipotético indicaría una considerable disminución en la presión sobre la biocapacidad de la Tierra, probablemente evitando el sobregiro de la biocapacidad mundial. Con menos personas adoptando patrones de consumo intensivos, característicos de las naciones de altos ingresos, se reduciría el impacto global en términos de uso de la tierra, consumo de recursos hídricos y liberación de gases nocivos para el medio ambiente.

La huella de carbono, que es el componente más significativo de la huella ecológica en países con altos ingresos, vería una reducción notable al disminuir la población. Este factor, combinado con una menor demanda de infraestructura residencial y comercial, así como una reducción en la necesidad de tierras de cultivo y pastoreo, contribuiría a que el consumo de recursos no supere la capacidad regenerativa del planeta. En consecuencia, la nueva estructura poblacional favorecería un uso más responsable de los recursos naturales, evitando su agotamiento prematuro y permitiendo que la biocapacidad global se mantenga y fortalezca. Este ajuste poblacional, por lo tanto, sería crucial para armonizar la calidad de vida con la sostenibilidad ecológica en el futuro.

### *Escenario de países con ingreso mediano alto*

Los países con ingreso medio alto presentan una tasa de pobreza del 1,4% bajo el umbral de $2,15 al día. El Ingreso Nacional Bruto (INB) va de $4.256 a $13.205. La esperanza de vida es de 75 años. La tasa de desempleo es del 5,5%. Además, el 99,4% de la población cuenta con acceso a electricidad (Worldbank, 2022d).

Para el escenario donde la población mundial adopta los patrones de consumo de las personas de países con ingresos medio altos, con una huella ecológica promedio per cápita de 3,38 hectáreas globales (gha), el día de sobregiro se alcanzaría el 17 de junio (Anexo 5). Los países de ingresos medios altos incluyen naciones como China, Brasil, Sudáfrica, Turquía, Rusia, México, entre otros (Hamadeh & Van Rompaey, 2023). Según Osuntuyi & Lean (2022) estos países están caracterizados por un crecimiento económico significativo y un incremento en los niveles de consumo y uso de recursos, pero aún con una eficiencia y control de impacto ambiental más limitados comparado con los países de ingresos altos.

La huella ecológica per cápita es de 3,38 gha, donde la asignación de terreno edificado es de 0,11 reflejando un alto nivel de urbanización. La huella de carbono es el componente más alto con 2,14 gha sugiriendo una intensiva actividad de transporte y generación de energía con plantas termodinámicas. Valores significantes también son las tierras de cultivo con 0,56 gha, tierras forestales con 0,27 gha y tierras de pastoreo con 0,19 gha. Estos valores denotan un consumo de bienes agrícolas y productos forestales esenciales para la fabricación de bienes de consumo (Anexo 6).

Alcanzar el día de sobregiro a mediados de junio muestra que, si todo el mundo viviera como la población de estos países, los recursos naturales de la Tierra se agotarían más rápidamente que en el escenario global actual pero no tan rápidamente como en el escenario de los países de ingresos altos.

Para mantener el consumo de huella ecológica per cápita promedio de 3,38 gha correspondiente a los países con ingresos medio altos, la población debería reducir de 7,95 mil millones a 3,5 mil millones de personas (Anexo 27). Con esta reducción poblacional, se estima que la biocapacidad regenerativa global no sería superada, evitando así el sobregiro ecológico.

### *Escenario de países con ingreso medio bajo*

Los países de ingresos medio bajo, según Worldbank (2022c), registran una tasa de pobreza del 12% bajo el umbral de $2,15. La esperanza de vida promedio para esta población es de 67 años. El 91,1% de la población cuenta con acceso a electricidad (Worldbank, 2022c).

En el escenario hipotético donde la población mundial adoptara los patrones de las personas pertenecientes al grupo de países con ingreso medio bajo, la demanda de biocapacidad no excedería la capacidad regenerativa del planeta. Con una huella ecológica de 1,22 gha per cápita se llegaría a un balance en el uso de recursos (Anexo 7).

Los países de ingresos medios bajos incluyen naciones como India, Indonesia, Nigeria, Vietnam, Filipinas, Camerún, Egipto, entre otros (Hamadeh & Van Rompaey, 2023). Según Wright et al. (2019), estos países suelen enfrentar importantes obstáculos en su desarrollo y poseen una capacidad restringida para obtener acceso a recursos tecnológicos avanzados y costosos, lo que conduce a un menor consumo per cápita de recursos naturales en comparación con los países más desarrollados.

La huella ecológica para este grupo de países es de 1,22 gha donde el consumo de terreno edificado es de 0,05 gha sugiriendo un nivel de urbanismo limitado. El mayor valor es por consumo de huella de carbono siendo 0,54 gha, pero es muy reducido comparado con este mismo rubro de los grupos de países anteriormente analizados. Para Kett et al. (2020), el uso reducido de vehículos y menor dependencia del transporte conlleva una movilidad sostenible o la adopción de transportes menos contaminantes como transportes no motorizados y uso de bicicleta para este grupo de países con menos recursos. La utilización de tierras de cultivo y forestales (0,29 y 0,13 gha respectivamente), muestran un consumo sostenible y un equilibrio entre la extracción y la regeneración de recursos (Anexo 8).

Para el caso de los países con ingresos medio bajos y con una huella ecológica per cápita de 1,22 gha, la población podría aumentar desde 7,95 mil millones hasta 9,9 mil millones de personas sin sobrepasar el día del sobregiro (Anexo 28). Este escenario resalta la viabilidad de adoptar estilos de vida y patrones de consumo más sostenibles, que prioricen un uso equilibrado y responsable de los recursos naturales, incluso en un contexto de crecimiento demográfico.

### *Escenario de países con ingresos bajos*

Según los datos del Worldbank (2022b), los países con ingresos bajos tienen un Producto Nacional Bruto promedio de $1.135, mientras que el Producto Interno Bruto per cápita se situó en $750 para el 2022. La esperanza de vida para las personas de este grupo es de 62 años y el 44,8% de la población cuenta con acceso a electricidad.

En este escenario hipotético donde la población mundial adoptase el estilo de vida de los países de ingresos bajos, donde la huella ecológica promedio per cápita es de apenas 0,89 gha, la demanda de recursos naturales de la población mundial no sobrepasa la capacidad regenerativa del planeta (Anexo 9).

Los países de ingresos bajos incluyen naciones como Afganistán, Haití, Mozambique, Uganda, República Democrática del Congo, Níger, Ruanda y muchos otros en regiones de África Subsahariana y algunas partes de Asia y América Latina (Hamadeh & Van Rompaey, 2023). Estos países comúnmente se encuentran con graves

desafíos de desarrollo, como infraestructura insuficiente, acceso limitado a servicios de salud y educación, y economías que dependen predominantemente de la agricultura y otros sectores de baja productividad (Kaiser & Barstow, 2022).

En la categoría de terreno edificado, con un 0,05 gha per cápita, denota una limitada urbanización e infraestructura básica, que incluye desafíos en términos de acceso a servicios básicos. Las tierras forestales con 0,23 gha es uno de los rubros más altos en este escenario (Anexo 10). La deforestación impulsada por la necesidad de tierra agrícola, tierra de pastoreo y leña exacerba el consumo de tierras forestales (López-Carr, 2021). El rubro más alto para este escenario es el de tierras de cultivo, con un 0,28 gha. Para este tipo de economías, la agricultura es de suma importancia. La falta de tecnologías agrícolas sostenibles puede llevar a la pérdida de productividad del suelo (Setsoafia et al., 2022). La huella de carbono con un valor de 0,15 gha es bajo en países de ingreso bajo por el mayor uso de energía manual o biomasa comparado con el uso de combustibles fósiles (EIA, 2024).

Si se realiza un aumento de la población en este escenario donde la huella ecológica per cápita promedio es de 0,89 gha, la biocapacidad regenerativa de la Tierra podría soportar hasta 11 mil millones de habitantes. Esto indica que, con el patrón de consumo de los países de ingresos bajos, el bajo impacto ambiental permite mantener una mayor cantidad poblacional (Anexo 29).

### *Escenarios por regiones*

Analizar la huella ecológica por regiones permite identificar patrones de consumo específicos. Según Zambrano-Monserrate et al. (2020), distintas regiones contribuyen de manera variable al impacto ecológico. Al analizar las huellas ecológicas por continentes, se puede observar la disparidad en el consumo de cada región (Zambrano-Monserrate et al., 2020).

De un total de 182 países analizados, solo 58 países tendrían un escenario donde no se sobrepasaría el día de sobregiro de la Tierra. Estos países son aquellos donde sus habitantes no llegan a alcanzar 1,53 gha de consumo per cápita al año. De estos 58 países, 38 están en África y 10 en Asia-Pacífico (Anexo 12, 13). La importancia de este grupo de países radica en la capacidad de los patrones de consumo que se adaptan a mantener la biocapacidad regenerativa de la Tierra con la población mundial de 2022.

### *Escenario para África*

En el escenario donde la población mundial adoptara el estilo de vida de los países de África, la huella ecológica promedio per cápita sería de 1,15 gha (Anexo 14). Notablemente, en este modelo de consumo, la demanda de biocapacidad no excede la capacidad regenerativa del planeta dentro del año calendario (Anexo 13). África, con su diversidad de 54 países, incluye naciones como Nigeria, Egipto, Sudáfrica, Kenia, Etiopía, Ghana, entre otros.

Dentro del consumo relacionado con la vivienda, el terreno edificado representa 0,04 gha. La movilidad, representada en parte por la huella de carbono, tiene un valor de 0,27 gha. Las tierras de cultivo y tierras de pastoreo tienen un valor de 0,3 gha y 0,15 gha respectivamente. Estos rubros son destinados a la producción agrícola y ganadera de la economía. La zona de pesca representa el 0,04 gha (Anexo 14).

De acuerdo con Mekonnen et al. (2021) los datos indican que los patrones de consumo del continente africano pueden llegar a una sostenibilidad, sin embargo, existen pérdidas en la calidad de vida de los habitantes. Su consumo de carnes y pescados es más bajo que en el resto de las regiones, generando un peligro en la seguridad alimentaria. Además, el difícil acceso a alimentos ricos en nutrientes y el acceso a electricidad y agua potable reflejan una baja calidad de vida (Mekonnen et al., 2021).

Si se considera una variación de la población de 7,95 mil millones a 10,5 mil millones de personas, el modelo de consumo adoptado por los países africanos no superaría la capacidad regenerativa del planeta en el ano calendario de este estudio (Anexo 30).

### *Escenario para Norte América*

En un escenario donde la población mundial adoptara el estilo de vida de los países de Norte América, la huella ecológica promedio per cápita sería de 6,11 hectáreas globales (gha). En este caso, el día del sobregiro se alcanzaría extremadamente temprano en el año, específicamente el 2 de abril (Anexo 15). Los países de Norte América, principalmente Estados Unidos y Canadá, son conocidos por su alto nivel de consumo de recursos naturales, uso intensivo de energía y altos estándares de vida.

Según el estudio de Sesini et al. (2020), Norte América está en una transición a prácticas sostenibles, reflejando un cambio en el patrón de consumo a productos y servicios responsables con el medio ambiente. En el estudio de Glavič (2021), se detalla una participación en economías compartidas y adopción del turismo sostenible. Sin embargo, podemos observar una alta dependencia de combustibles fósiles que se reflejan en el consumo de huella de carbono con un valor de 3,85 gha per cápita. El valor de tierras de cultivo es de 1,11 gha y el de consumo de tierras forestales de 0,71 gha (Anexo 16).

Para el escenario de Norte América, una variación de la población que se ajuste a la biocapacidad regenerativa del planeta requiere una disminución de la población de 7,95 mil millones a 1,9 mil millones manteniendo el promedio de consumo de huella ecológica de este grupo de países en 6,11 gha (Anexo 31).

### *Escenario para Centroamérica y el Caribe*

En el escenario hipotético donde la población mundial adopta el estilo de vida de los países de Centroamérica, la huella ecológica promedio per cápita sería de 1,79 gha. En este caso, el día del sobregiro llegaría el 10 de noviembre (Anexo 17). Los países de Centroamérica incluyen Guatemala, Belice, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá.

Estos países, caracterizados por economías más pequeñas y en muchos casos, por un desarrollo económico y tecnológico menor que en regiones más ricas como América del Norte o Europa, muestran un nivel de consumo de recursos notablemente más bajo. Esto se debe en parte a un menor ingreso per cápita y a estilos de vida que integran en mayor medida prácticas de consumo más sustentables, como dietas con menor contenido de carne y mayor dependencia de transporte público o medios de transporte no motorizados (Silva et al., 2023).

El consumo en vivienda representa un consumo de 0,11 gha per cápita, reflejando la demanda de infraestructura y materiales de construcción. La huella de carbono tiene un valor de 0,6 gha, representando la mayor parte en movilidad y generación de energía. Los otros rubros altos en esta huella ecológica son la tierra de cultivo con 0,4 gha y tierras forestales con 0,26 gha, destacando el uso intensivo de recursos naturales para bienes de consumo (Anexo 18).

El día del sobregiro que cae el 10 de noviembre sugiere que, si toda la humanidad viviera como la población de Centroamérica, los recursos de la Tierra durarían mucho más a lo largo del año, acercándonos a un uso más sostenible de los recursos naturales. Este nivel de consumo, si bien es más bajo que en los países de ingresos altos, todavía excede la capacidad regenerativa del planeta, aunque de manera menos severa.

Para el escenario de Centroamérica, con un consumo per cápita promedio de 1,79 gha se requeriría disminuir la población mundial de 7,95 mil millones a 6,8 mil millones de personas (Anexo 32). Dietas con un menor consumo de carne y mayor uso del transporte público o no motorizado aportan a mantener una buena calidad de vida y mantener un gran número de habitantes.

### *Escenario para Suramérica*

Si la población mundial adoptara el estilo de vida típico de los países de Suramérica, siendo la huella ecológica promedio per cápita de 2,54 hectáreas globales (gha), el día del sobregiro se alcanzaría el 9 de agosto (Anexo 19). Los países de Suramérica incluyen Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Guyana, Paraguay, Perú, Surinam, Uruguay y Venezuela.

Los principales valores de la huella ecológica promedio de una persona sudamericana son la huella de carbono con el 0,78 gha, relacionada con movilidad y quema de combustibles fósiles en general. Además, las tierras de pastoreo con 0,59 gha y las tierras de cultivo con 0,54 gha siendo recursos fundamentales para la producción de alimentos provenientes de agricultura, ganadería y productos forestales que son claves en la economía de la región suramericana (Anexo 20).

El día del sobregiro que cae el 9 de agosto refleja un consumo de recursos que es relativamente moderado en comparación con el de países de ingresos altos como los de América del Norte, pero todavía significa que los recursos que la Tierra puede regenerar en un año se consumen antes de terminar el año. Esto indica que, aunque el consumo de recursos en Suramérica es más bajo que en los países más industrializados, aún excede la capacidad regenerativa del planeta y aún no logra llegar a una convergencia en la región (Tillaguango et al., 2021).

La variación de la población para este escenario requiere una disminución de la población mundial de 7,95 mil millones a 4,7 mil millones de habitantes (Anexo 33). Esta hipotética reducción en la población global sugiere un escenario donde, adoptando el estilo de vida promedio de los países suramericanos, con una huella ecológica per cápita de 2,54 hectáreas globales la población se ve altamente reducida para soportar el uso intensivo de recursos naturales.

### *Escenario para Asia Pacífico*

En el escenario hipotético donde la población mundial adoptara el estilo de vida típico de los países de Asia Pacífico, siendo la huella ecológica promedio per cápita de 2,23 gha, el día del sobregiro se alcanzaría el 9 de septiembre (Anexo 21). Los países de la región Asia Pacífico son extremadamente diversos e incluyen economías avanzadas como Japón, Australia, y Corea del Sur, economías emergentes como China e India, y otros países en desarrollo como Indonesia, Filipinas, y Tailandia.

La huella de carbono es el mayor valor dentro del total de su huella ecológica, con 1,46 gha. Este valor se vincula a un alto componente de movilidad y algo consumo energético por personas y empresas. Las tierras de cultivo y tierras forestales son los siguientes valores significativamente altos con 0,36 gha y 0,18 gha significando un alto consumo en productos agrícolas y forestales para alimentos y materiales derivados de la tierra (Anexo 22).

Esta región es notablemente diversa en términos de desarrollo económico, culturas, y ambientes naturales. Incluye algunos países como China e India, que tienen un impacto significativo en la huella ecológica regional debido a su enorme demanda de recursos. Sin embargo, también hay países en esta región que mantienen prácticas de consumo relativamente bajas debido a estilos de vida tradicionales y restricciones económicas (WWF, 2012).

Para el caso de los países de Asia Pacífico se requiere una variación de la población de 7,95 mil millones a 5,4 mil millones de personas para no sobrepasar la biocapacidad regenerativa de la Tierra manteniendo su patrón de consumo de 2,23 gha (Anexo 34).

### *Escenario para la Unión Europea*

Si la población mundial adoptara el estilo de vida típico de los países de la Unión Europea (EU-27), con una huella ecológica promedio per cápita de 4,46 hectáreas globales (gha), el día del sobregiro se alcanzaría el 6 de mayo (Anexo 23). Los países de la EU-27 incluyen a Alemania, Francia, Italia, España, Polonia, Rumania, Países Bajos, Bélgica, Grecia, Portugal, República Checa, Hungría, Suecia, Austria, Bulgaria, Dinamarca, Finlandia, Eslovaquia, Irlanda, Croacia, Lituania, Eslovenia, Letonia, Estonia, Chipre, Luxemburgo y Malta.

El consumo asociado con la huella de carbono es el más alto, con 2,21 gha. Le siguen el consumo de las tierras de cultivo con 0,93 gha y las tierras forestales con 0,56 gha. El patrón de consumo para esta población refleja alta dependencia a los recursos naturales y energéticos. También se tienen los valores del terreno edificado con 0,13 gha. Las tierras de pastoreo con 0,21 gha y la zona de pesca con 0,17 gha (Anexo 24).

Esta región es conocida por su alto nivel de desarrollo económico, una fuerte infraestructura y un alto estándar de vida, lo que se refleja en un consumo alto de recursos. El alto nivel de la huella ecológica en estos países se debe a varios factores, incluyendo un consumo sustancial de energía, un estilo de vida que incluye un alto uso de automóviles y productos manufacturados, así como dietas ricas en productos animales y otros bienes intensivos en recursos (EEA, 2016).

El día del sobregiro que cae el 6 de mayo indica que si toda la humanidad viviera como la población de la EU-27, los recursos naturales que la Tierra puede regenerar en un año se agotarían rápidamente. De acuerdo con Pretty (2013), los países con mayor impacto ambiental deberían emplear impuestos y otras estrategias de mercado para cambiar las preferencias de consumo de las personas en los sectores económicos importantes como energía, transporte, edificaciones, agricultura, industria, silvicultura y gestión de residuos. Este escenario destaca la insostenibilidad del nivel de consumo actual en la EU-27 si se extrapolara a una escala global.

Bajo un análisis hipotético para no sobrepasar la biocapacidad de la Tierra y mantener los patrones de consumo se requiere una reducción de la población mundial de 7,95 mil millones a 2,7 mil millones de personas, adoptando el estilo de vida promedio de los países de la Unión Europea (EU-27) con 4,46 gha (Anexo 35). Este análisis sugiere que, a pesar del alto nivel de consumo de recursos asociado a los países de la EU-27, una población mundial considerablemente menor podría coexistir sin sobrepasar los límites de biocapacidad del planeta.

### *Escenarios por países*

La creación de escenarios por países permite capturar las variables ambientales y socioeconómicas en el contexto de ese país. En este enfoque, analizaremos los escenarios de un país que se encuentra entre los que más huella ecológica consume, seguido de un país en el grupo de países que menos huella ecológica consume. También se realizará un análisis para Ecuador.

### *Escenario para Qatar (alto consumo)*

Qatar es uno de los países con mayor huella ecológica a nivel mundial. Si la población mundial adoptara el estilo de vida de Qatar, el día del sobregiro ocurriría el 12 de febrero del 2022, indicando un uso extremadamente elevado de recursos naturales, reflejado en una huella ecológica per cápita de 13,13 gha (Anexo 36).

Relacionado con su alto nivel de consumo, Qatar tiene un alto Índice de Desarrollo Humano (IDH) de 0,86, que señala mejoras importantes en la calidad de vida, educación y salud. En términos económicos, el país presenta un PIB per cápita de $87.660, uno de los más altos a nivel mundial. Además, Qatar ha logrado un 66,78 % de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), lo que implica un compromiso notable hacia el desarrollo sostenible a pesar de las dificultades ambientales presentes. La esperanza de vida en Qatar es de 79,27 años, lo que demuestra un sistema de salud efectivo y una buena calidad de vida, aunque el modelo de consumo del país plantea serios retos para la sostenibilidad global.

En el análisis de su huella de ecológica por categorías se puede observar que la mayor cantidad es huella de carbono, con un valor de 11,63 gha. Este alto valor es indicativo de un consumo intensivo de combustibles fósiles para movilidad y producción de energía. Las tierras de cultivo y tierras de pastoreo suman un aproximado de 1,06 gha de consumo para para bienes agrícolas y ganaderos. La categoría de terreno edificado con un valor de 0,11 gha que es alta en comparación con el terreno edificado de otros países como el de Ruanda que es 0,04 gha. La zona de pesca, con 0,16 gha, aunque menor, sugiere una utilización de recursos acuáticos para la alimentación y posiblemente para actividades económicas relacionadas como el turismo y la recreación (Anexo 37).

En un escenario hipotético se debería reducir la población mundial de 7,95 mil millones a menos de 1,0 mil millones de personas, donde aun así no se llega al límite para no sobrepasar la biocapacidad regenerativa de la Tierra manteniendo el mismo nivel de consumo per cápita observado en Qatar. se podría lograr un equilibrio más sostenible entre el consumo de recursos y la biocapacidad del planeta (Anexo 38).

### *Escenario para Ruanda (bajo consumo)*

En el análisis de la sostenibilidad ambiental de Ruanda, se observa un equilibrio notable entre la demanda de biocapacidad y la capacidad regenerativa del planeta, puesto que la huella ecológica per cápita se mantiene en 0,55 gha. Este dato es relevante al considerar que la población mundial, al adoptar un estilo de vida similar al de Ruanda, no excedería la biocapacidad del planeta en un año determinado (Anexo 39).

El Índice de Desarrollo Humano (IDH) de Ruanda es de 0,53, lo que refleja desafíos en aspectos como educación, salud y calidad de vida, aunque estos están siendo gestionados dentro del marco de sostenibilidad. Además, el Producto Interno Bruto (PIB) per cápita es de $2404,69, lo que indica un nivel económico modesto. En cuanto a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), Ruanda ha alcanzado un 59,42 % de estos, demostrando un compromiso significativo hacia el desarrollo sostenible. La esperanza de vida, que se sitúa en 66,07 años, aunque inferior a la media global, muestra progresos y desafíos en el sector de la salud pública.

La huella ecológica per cápita de 0,55 gha es uno de los más bajos consumos a nivel mundial. La huella de carbono de 0,081 gha sugiere un consumo bajo de energía y movilidad, lo que refleja un bajo uso de combustibles fósiles y un posible enfoque en la movilidad no motorizada o el transporte público. El terreno edificado de 0,04 gha y las tierras de cultivo de 0,18 gha indican un uso significativo del suelo para vivienda y producción agrícola, lo cual es coherente con una economía agraria y rural (Anexo 40).

Las tierras de cultivo y tierras forestales son los valores más altos en el consumo de la huella ecológica. Con un 17,85% de las tierras dedicadas a la agricultura (0,18 gha per cápita) y un 20,04% cubierto por bosques (0,20 gha per cápita), el país muestra un consumo moderado de estos dos tipos de tierra (Anexo). La significativa proporción de tierras agrícolas refleja la dependencia de la economía ruandesa en la agricultura para la subsistencia y el sustento económico de gran parte de su población.

Si se diera un aumento de la población mundial de 7,95 mil millones a 11,0 mil millones, el consumo de biocapacidad continuaría sin sobrepasar la biocapacidad regenerativa de la Tierra. Este escenario sugiere que, si

la población mundial adoptara un estilo de vida similar al de Ruanda, el planeta podría sustentar una mayor cantidad de habitantes sin superar los límites de biocapacidad (Anexo 41).

### *Escenario para Ecuador*

La sostenibilidad en Ecuador presenta un cuadro más equilibrado en comparación con países de mayor consumo de huella ecológica per cápita. Si la población mundial adoptara el estilo de vida de la persona promedio de Ecuador, el día del sobregiro se alcanzaría el 30 de noviembre del 2022, reflejando una demanda de recursos más moderada con una huella ecológica per cápita de 1,68 gha (Anexo 42). Aunque se excede la biocapacidad planetaria, se muestra un manejo más sostenible que en economías más industrializadas.

Ecuador registra un Índice de Desarrollo Humano (IDH) de 0,74, lo que indica avances significativos en educación, salud y nivel de ingresos, aunque aún existen desafíos por superar. En términos económicos, el PIB per cápita de Ecuador es de $6.846, situándose en un rango medio a nivel global y reflejando una economía diversificada que incluye agricultura, manufactura y servicios. Con un 71,55 % en el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), Ecuador muestra un compromiso firme hacia metas de desarrollo integral que promueven la sostenibilidad social, económica y ambiental. La esperanza de vida, situada en 73,67 años, es testimonio de mejoras continuas en el sistema de salud y calidad de vida general de la población.

La huella ecológica de Ecuador se reparte principalmente en la huella de carbono, que representa la mayor proporción con 0,88 gha. Las tierras forestales y de cultivo, que suman aproximadamente 0,42 gha, reflejan una gestión de recursos naturales que contribuye a la diversificación económica del país y a su avance hacia la sostenibilidad (Anexo 43). Esto se alinea con el compromiso de Ecuador hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Sin embargo, la proporción relativamente baja de tierras de pastoreo y la zona de pesca sugiere que estas áreas podrían estar menos explotadas o que requieren atención para asegurar su sostenibilidad futura.

En un escenario hipotético donde la población mundial disminuye de 7,95 mil millones a 7,2 mil millones de personas y la población mundial mantiene el patrón de consumo promedio de las personas de Ecuador, se lograría no sobrepasar la biocapacidad regenerativa del planeta (Anexo 44).

## *Discusión*

La huella ecológica y el día de sobregiro de la Tierra, desarrollados por Wackernagel & Rees (1998) se han convertido en una herramienta práctica para medir el consumo de recursos de los humanos. Un dato importante también es la biocapacidad, que hace referencia a la capacidad del ecosistema de regenerar los recursos renovables y capturar los desechos, mientras que la huella ecológica mide la cantidad de tierra y agua requeridas para el consumo humano (Wackernagel et al., 2004). Los resultados obtenidos indican que la humanidad está en niveles de sobregiro, concordando con Wackernagel et al. (2002) que indica los niveles de sobregiro a inicios de la década de 1980.

### *Impacto del crecimiento poblacional y el consumo*

Los resultados sugieren que uno de los factores más críticos que influyen al día del sobregiro es el crecimiento poblacional. La investigación de Bergaglio (2017) subraya el crecimiento continuo de la población mundial, proyectado para alcanzar los 11,2 mil millones en 2100, aumentando así la presión sobre los recursos naturales. Además, Cafaro et al. (2022) indican que la sobrepoblación es una de las causas más fuertes en la disminución de biodiversidad, lo que destaca la necesidad de abordar tanto el crecimiento poblacional como los patrones de

consumo para mitigar estos efectos negativos. Según los datos de Overshootday (2022c), si cada familia tuviera un hijo menos y la paternidad se pospusiera por dos años, para 2050 se lograría obtener 49 días adicionales antes de llegar al día del sobregiro.

Los patrones de consumo también juegan un papel crucial en la determinación del día del sobregiro. Según Davis & Caldeira (2010) las emisiones de CO2 basadas en el consumo son un indicador clave de cómo las actividades humanas afectan el medio ambiente. El estudio de Dissanayake et al. (2023) demuestra una relación directa entre el consumo de energía, las emisiones de carbono y el crecimiento económico, lo que sugiere que los modelos económicos actuales están intrínsecamente ligados a un uso intensivo de recursos que no es sostenible a largo plazo tal como lo hemos evidenciado en los escenarios de países con consumo intensivo de huella ecológica. Según los datos de Overshootday (2022a), si la humanidad logra reducir la huella de carbono en un 50%, se lograría obtener 93 días adicionales antes de llegar al día del sobregiro. Por otro lado, el uso de energías eficientes en procesos industriales podría agregar al menos 21 días a la fecha del día de sobregiro.

Los estudios de Lin et al. (2018) y Moore et al. (2012) ofrecen un marco analítico para proyectar la demanda de los recursos, generando comparaciones dentro de distintos escenarios del impacto de los patrones de consumo incluyendo la ingesta calórica y el consumo de huella ecológica proyectado hasta el año 2050. Los resultados obtenidos presentan similitud con el trabajo de  Moore et al. donde el patrón de consumo de países como Malasia o Costa Rica no sobrepasan la línea base del consumo de recursos.

### *Recomendaciones para mitigar el sobregiro ecológico*

Como se discute en los estudios de Piekut & Piekut (2022) y Pretty (2013), los países de ingresos altos tienden a generar un mayor consumo de huella ecológica que los países de ingresos medios y bajos. Generar incentivos, promoción y educación para el consumidor pueden aportar en retrasar el día del sobregiro. La educación desempeña un papel fundamental en el fomento de la sostenibilidad, tal como se habla en los estudios de Glavič (2021) y Sesini et al. (2020) donde se subraya la importancia de aumentar la conciencia en los patrones de consumo por medio de la educación al consumidor generando una conciencia pública. Según los datos de Overshootday (2022b), si se logra reducir el consumo de carne en un 50% y reemplazar con dieta vegetariana, se lograría agregar 17 días al día de sobregiro.

Además, la investigación de Wright et al. (2019) destaca los beneficios de la economía circular, que incentiva a minimizar el desperdicio y maximizar el aprovechamiento de recursos. En los estudios de Setsoafia et al. (2022) y Mekonnen et al. (2021) se sugiere que las prácticas agrícolas sostenibles pueden mejorar la seguridad alimentaria y reducir la huella ecológica. Overshootday (2022b) sostiene que, si se logra cortar el desperdicio de comida en un 50%, se agregarían 13 días al día de sobregiro.

El trabajo de Lee et al. (2021) sobre la huella ecológica en Taiwán resalta la importancia de formular políticas que fomenten el manejo sostenible de los recursos a través de regulaciones adecuadas. Las políticas gubernamentales pueden tener un impacto significativo en la reducción de los patrones de consumo y en lograr la reducción del día de sobregiro de la Tierra.

La educación ambiental para el consumo de instituciones públicas, privadas y personas en general desempeñan un papel de promoción de la sostenibilidad. En el artículo de Glavič (2020), los programas educativos en temas de sostenibilidad, cambios de hábitos de consumo han sido fundamentales para disminuir el consumo de recursos naturales. Además, Sesini et al. (2020) mantiene que la relevancia de las campañas que aborden los comportamientos de consumo y promuevan cambios de estilos de vida más sostenibles generaron sensibilización comunitaria para la adopción de hábitos sostenibles a largo plazo.

La transición hacia fuentes renovables de energía y lograr la eficiencia de la energía son primordiales para la reducción de las emisiones de CO2. Dissanayake et al. (2023) proponen a la energía renovable como un gran agente de cambio para la reducción de la huella de carbono global.

Las prácticas agrícolas sostenibles son otro factor esencial para la reducción de la huella ecológica del sector agrícola. Según Setsoafia et al. (2022), la implementación de técnicas agroecológicas, la rotación de cultivos y la agricultura de conservación puede disminuir el impacto de estos tipos de suelo en la huella ecológica. La ecoeficiencia y la innovación tecnológica son otros elementos clave para lograr la sostenibilidad. Finkbeiner et al. (2006) destacaron la adopción de modelos ecoeficientes en las industrias de producción y en el desarrollo de productos con menos impacto ambiental El uso de materiales ecoeficientes minimiza los residuos y las emisiones a lo largo del ciclo de vida de los productos. Además, la implementación de sistemas de gestión ambiental y la adopción de estándares internacionales, como la ISO 14001, pueden ayudar a las empresas a mejorar su desempeño ambiental.

## *Conclusiones*

Uno de los mensajes centrales de esta investigación es la necesidad urgente de crear estrategias de consumo sostenible, principalmente para los países con mayores ingresos per cápita. Estos países con estilos de vida intensivos en recursos requieren un cambio en su cultura de consumo, tal como el de los grupos de países con niveles bajos de consumo donde su impacto ambiental es menor. Hábitos como el consumo de alimentos locales y la reducción del consumo de productos importados puede colaborar en reducir la generación de huella ecológica per cápita.

La reducción del consumo de recursos en países de ingresos altos al nivel de países de ingresos medios puede retrasar la fecha del día del sobregiro siendo este un primer paso a la sostenibilidad. Esto indica la importancia de políticas para reducir la huella ecológica a través de la promoción de patrones de consumo sostenibles, así como adoptar e invertir en tecnologías y prácticas que minimicen la huella ecológica.

Además, los resultados subrayan la importancia de promover cambios en los patrones de consumo en economías de desarrollo. Aunque estos países presentan una huella ecológica per cápita menor, enfrentan el desafío de mejorar su calidad de vida sin incrementar su impacto ambiental significativamente. Se destaca la necesidad de una colaboración internacional que proporcione las tecnologías y conocimientos necesarios para un desarrollo más sostenible sin dejar de lado el crecimiento económico de estas regiones. Esto permitiría a estos países avanzar sin replicar los patrones de consumo insostenibles de los países más desarrollados.

La investigación también ha demostrado que la adopción global de estilos de vida y patrones de consumo propios de países con baja huella ecológica podría ofrecer una solución sustentable a largo plazo para evitar el sobregiro ecológico. Este enfoque requiere de un cambio profundo y estructurado en las políticas económicas y sociales globales, enfocado principalmente hacia la promoción de tecnologías limpias y eficientes y el fomento de prácticas agrícolas y de consumo responsable.

Para los escenarios por países, Ecuador se muestra como un país con menor uso de recursos naturales. Los mercados locales de frutas y verduras permiten que su huella ecológica de tierras de cultivo y huella de carbono sean más bajos que el promedio mundial. Aunque Ecuador aún enfrenta desafíos hacia su progreso económico, no debe dejar de lado su respeto al medio ambiente. En el caso de Ruanda, su población es sostenible en el consumo, pero carece de un desarrollo socioeconómico y una buena calidad de vida. El caso contrario es el de

Qatar, que refleja un consumo intensivo de huella ecológica, tiene un desarrollo y calidad de vida al otro extremo que Ruanda. Sin embargo, si toda la población tuviera este estilo de vida, se agotarían rápidamente los recursos de la Tierra.

Otro de los aspectos importantes es el impacto que tiene la modificación de la población global en la sostenibilidad ambiental. Los hallazgos revelan que una reducción en la población mundial podría aliviar significativamente la presión sobre los recursos naturales, retrasando así el día del sobregiro ecológico. En base a este descubrimiento, se llega a una dicotomía donde se deben tomar decisiones complicadas por los planificadores de cada nación. Este descubrimiento subraya la importancia de integrar políticas de planificación familiar y educación sexual a nivel mundial, como parte esencial de las estrategias de sostenibilidad a mediano y largo plazo.

La efectividad de las políticas de sostenibilidad y la reducción de la huella ecológica dependen en gran medida de su aceptación y adopción por parte de las poblaciones, lo que requiere considerar las particularidades culturales, económicas y sociales de cada área.

Es importante destacar la necesidad de realizar estudios continuos que permitan monitorear los cambios en los hábitos de consumo y su impacto en la biocapacidad del planeta. El desarrollo de tecnologías de monitoreo más sofisticadas permitirá a los gobiernos y organizaciones ajustar sus estrategias en tiempo real y con base en evidencia sólida. Esto asegurará que los esfuerzos para prolongar la biocapacidad del planeta sean tan efectivos como sea posible. Se insta a todas las partes interesadas, desde individuos hasta gobiernos y organizaciones internacionales, a tomar medidas concretas y comprometidas para garantizar un futuro más justo y sostenible para todos.

Los hallazgos de esta investigación refuerzan la idea de que un enfoque integrado que combine la gestión sostenible del consumo de recursos con políticas efectivas de control poblacional puede proporcionar una solución más completa y efectiva para mitigar el problema del sobregiro ecológico. Este enfoque requiere una colaboración internacional sólida y comprometida, donde la equidad, la ética y la sostenibilidad sean los pilares de las políticas globales.

En resumen, esta investigación permite enfatizar la importancia de una reestructuración de los patrones de consumo, la necesidad de implementar políticas sostenibles para mitigar el adelanto del día del sobregiro de la Tierra y la importancia de controlar el crecimiento poblacional. La buena gestión del consumo de los recursos naturales en el presente es indispensable para garantizar la habitabilidad del planeta para las generaciones venideras.

# *Referencias*


Bergaglio, M. (2017). The contemporary illusion: population growth and sustainability. *Environment, Development and Sustainability*, *19*(5), 2023–2038. https://doi.org/10.1007/s10668-016-9842-3

Cafaro, P., Hansson, P., & Götmark, F. (2022). Overpopulation is a major cause of biodiversity loss and smaller human populations are necessary to preserve what is left. *Biological Conservation*, *272*, 109646. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109646

Cleland, J. (2013). World Population Growth; Past, Present and Future. *Environmental and Resource Economics*, *55*(4), 543–554. https://doi.org/10.1007/s10640-013-9675-6

Davis, S. J., & Caldeira, K. (2010). Consumption-based accounting of CO2 emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(12), 5687–5692. https://doi.org/10.1073/pnas.0906974107

De Araújo, I. F., Bowen, W. M., Jackson, R., & Ferreira Neto, A. B. (2020). Proximate Causes of Worldwide Mega-Regional CO2 Emission Changes, 1995–2009. In Z. Chen, W. M. Bowen, & D. Whittington (Eds.), *Development Studies in Regional Science: Essays in Honor of Kingsley E. Haynes* (pp. 167–198). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1435-7_11

Dissanayake, H., Perera, N., Abeykoon, S., Samson, D., Jayathilaka, R., Jayasinghe, M., & Yapa, S. (2023). Nexus between carbon emissions, energy consumption, and economic growth: Evidence from global economies. *PLOS ONE*, *18*(6), e0287579-. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287579

EEA. (2016). *Ecological footprint of European countries*. https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/ecological-footprint-of-european-countries

EIA. (2024). *Biomass and the environment - U.S. Energy Information Administration (EIA)*. https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/biomass-and-the-environment.php

FAO. (2020). Global Forest Resources Assessment 2020. *Global Forest Resources Assessment 2020*. https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca9825en

Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R., Christiansen, K., & Klüppel, H.-J. (2006). The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *11*(2), 80–85. https://doi.org/10.1065/lca2006.02.002

FMI. (2024). World Economic Outlook— Steady but Slow: Resilience amid Divergence. *Https://Www.Imf.Org/En/Publications/WEO/Issues/2024/04/16/World-Economic-Outlook-April-2024*.

Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B., & Giljum, S. (2012). Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a “Footprint Family” of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet. *Ecological Indicators*, *16*, 100–112. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.017

Glavič, P. (2020). Identifying Key Issues of Education for Sustainable Development. *Sustainability*, *12*(16). https://doi.org/10.3390/su12166500

Glavič, P. (2021). Evolution and Current Challenges of Sustainable Consumption and Production. *Sustainability*, *13*(16). https://doi.org/10.3390/su13169379

Global Footprint Network. (2022). *API Global Footprint Network*. https://data.footprintnetwork.org/#/api

Hamadeh, N., & Van Rompaey, C. (2023). *World Bank Group country classifications by income level for FY24 (July 1, 2023- June 30, 2024)*. https://blogs.worldbank.org/en/opendata/new-world-bank-group-country-classifications-income-level-fy24

Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science*, *162*(3859), 1243–1248. http://www.jstor.org/stable/1724745

Hardin, G. (1993). Living Within Limits: Ecology, Economics, and Population Taboos. *Oxford University Press*. https://doi.org/10.2307/2938419

IPCC. (2023). Climate Change 2021 – The Physical Science Basis. *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*. https://doi.org/10.1017/9781009157896

ISO. (2006). *ISO 14040:2006 - Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*. https://www.iso.org/standard/37456.html

Kaiser, N., & Barstow, C. K. (2022). Rural Transportation Infrastructure in Low- and Middle-Income Countries: A Review of Impacts, Implications, and Interventions. *Sustainability*, *14*(4). https://doi.org/10.3390/su14042149

Kett, M., Cole, E., & Turner, J. (2020). Disability, Mobility and Transport in Low- and Middle-Income Countries: A Thematic Review. *Sustainability*, *12*(2). https://doi.org/10.3390/su12020589

Lee, Y.-J., Chai, L., & Wu, P.-S. (2021). Taiwan's ecological footprint and overshoot day. *Scientific Reports*, *11*(1), 15068. https://doi.org/10.1038/s41598-021-94540-7

Lin, D., Hanscom, L., Murthy, A., Galli, A., Evans, M., Neill, E., Mancini, M. S., Martindill, J., Medouar, F. Z., Huang, S., & Wackernagel, M. (2018). Ecological Footprint Accounting for Countries: Updates and Results of the National Footprint Accounts, 2012–2018. *Resources 2018, Vol. 7, Page 58*, *7*(3), 58. https://doi.org/10.3390/RESOURCES7030058

López-Carr, D. (2021). A Review of Small Farmer Land Use and Deforestation in Tropical Forest Frontiers: Implications for Conservation and Sustainable Livelihoods. *Land 2021, Vol. 10, Page 1113*, *10*(11), 1113. https://doi.org/10.3390/LAND10111113

Mancini, M. S., Galli, A., Niccolucci, V., Lin, D., Bastianoni, S., Wackernagel, M., & Marchettini, N. (2016). Ecological Footprint: Refining the carbon Footprint calculation. *Ecological Indicators*, *61*, 390–403. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.040

Mardani, A., Streimikiene, D., Cavallaro, F., Loganathan, N., & Khoshnoudi, M. (2019). Carbon dioxide (CO2) emissions and economic growth: A systematic review of two decades of research from 1995 to 2017. *Science of The Total Environment*, *649*, 31–49. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.229

Mekonnen, D. A., Trijsburg, L., Achterbosch, T., Brouwer, I. D., Kennedy, G., Linderhof, V., Ruben, R., & Talsma, E. F. (2021). Food consumption patterns, nutrient adequacy, and the food systems in Nigeria. *Agricultural and Food Economics*, *9*(1), 1–21. https://doi.org/10.1186/S40100-021-00188-2/TABLES/4

Moore, D., Cranston, G., Reed, A., & Galli, A. (2012). Projecting future human demand on the Earth's regenerative capacity. *Ecological Indicators*, *16*, 3–10. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.03.013

Osuntuyi, B. V., & Lean, H. H. (2022). Economic growth, energy consumption and environmental degradation nexus in heterogeneous countries: does education matter? *Environmental Sciences Europe*, *34*(1), 1–16. https://doi.org/10.1186/S12302-022-00624-0/TABLES/11

Overshootday. (2022a). *Energy Solution - #MoveTheDate of Earth Overshoot Day*. https://www.overshootday.org/solutions/energy/

Overshootday. (2022b). *Food Solution - #MoveTheDate of Earth Overshoot Day*. https://overshoot.footprintnetwork.org/solutions/food/

Overshootday. (2022c). *Population Solution - #MoveTheDate of Earth Overshoot Day*. https://www.overshootday.org/solutions/population/

Oyewole, P. (1998). Country Segmentation of the International Market Using ICP-Based Consumption Patterns. *Journal of Global Marketing*, *11*(4), 75–94. https://doi.org/10.1300/J042v11n04_05

Pękalski, A., & Sznajd-Weron, K. (2001). Population dynamics with and without selection. *Physical Review E*, *63*(3), 31903. https://doi.org/10.1103/PhysRevE.63.031903

Piekut, M., & Piekut, K. (2022). Changes in Patterns of Consumer Spending in European Households. *Sustainability*, *14*(19). https://doi.org/10.3390/su141912794

Pretty, J. (2013). The Consumption of a Finite Planet: Well-Being, Convergence, Divergence and the Nascent Green Economy. *Environmental and Resource Economics*, *55*(4), 475–499. https://doi.org/10.1007/s10640-013-9680-9

Rice, J. C., & Garcia, S. M. (2011). Fisheries, food security, climate change, and biodiversity: characteristics of the sector and perspectives on emerging issues. *ICES Journal of Marine Science*, *68*(6), 1343–1353. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsr041

Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2019). Meat and Dairy Production. *Our World in Data*.

Sala, S., Ciuffo, B., & Nijkamp, P. (2015). A systemic framework for sustainability assessment. *Ecological Economics*, *119*, 314–325. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.09.015

Samways, D. (2022). Population and Sustainability: Reviewing the Relationship Between Population Growth and Environmental Change. *The Journal of Population and Sustainability*, *6*(1), 15–41. https://doi.org/10.3197/JPS.63772239426891

Sesini, G., Castiglioni, C., & Lozza, E. (2020). New Trends and Patterns in Sustainable Consumption: A Systematic Review and Research Agenda. *Sustainability*, *12*(15). https://doi.org/10.3390/su12155935

Setsoafia, E. D., Ma, W., & Renwick, A. (2022). Effects of sustainable agricultural practices on farm income and food security in northern Ghana. *Agricultural and Food Economics*, *10*(1), 1–15. https://doi.org/10.1186/S40100-022-00216-9/TABLES/4

Silva, A., Perez-Silva, R., & Castillo, M. (2023). Editorial: Food consumption disparities, public health and sustainability in Latin America and the Caribbean. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *7*, 1155198. https://doi.org/10.3389/FSUFS.2023.1155198/BIBTEX

Swart, R. J., Raskin, P., & Robinson, J. (2004). The problem of the future: sustainability science and scenario analysis. *Global Environmental Change*, *14*(2), 137–146. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2003.10.002

Tillaguango, B., Alvarado, R., Dagar, V., Murshed, M., Pinzón, Y., & Méndez, P. (2021). Convergence of the ecological footprint in Latin America: the role of the productive structure. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(42), 59771–59783. https://doi.org/10.1007/s11356-021-14745-1

Wackernagel, M. (2006). Ecological Footprint Accounting—Comparing Earth's Biological Capacity with an Economy's Resource Demand. In M. Keiner (Ed.), *The Future of Sustainability* (pp. 193–209). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-4908-0_10

Wackernagel, M., & Lin, D. (2023a). Earth Overshoot Day. In N. Wallenhorst & C. Wulf (Eds.), *Handbook of the Anthropocene: Humans between Heritage and Future* (pp. 569–572). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-25910-4_90

Wackernagel, M., & Lin, D. (2023b). Overshoot. In N. Wallenhorst & C. Wulf (Eds.), *Handbook of the Anthropocene: Humans between Heritage and Future* (pp. 625–629). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-25910-4_101

Wackernagel, M., Monfreda, C., Schulz, N. B., Erb, K.-H., Haberl, H., & Krausmann, F. (2004). Calculating national and global ecological footprint time series: resolving conceptual challenges. *Land Use Policy*, *21*(3), 271–278. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2003.10.006

Wackernagel, M., & Rees, W. (1998). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers. https://books.google.com.ec/books?id=WVNEAQAAQBAJ

Wackernagel, M., Schulz, N. B., Deumling, D., Linares, A. C., Jenkins, M., Kapos, V., Monfreda, C., Loh, J., Myers, N., Norgaard, R., & Randers, J. (2002). Tracking the ecological overshoot of the human economy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *99*(14), 9266–9271. https://doi.org/10.1073/pnas.142033699

Worldbank. (2022a). *High income | Data*. https://data.worldbank.org/income-level/high-income

Worldbank. (2022b). *Low income | Data*. https://data.worldbank.org/country/low-income

Worldbank. (2022c). *Lower middle income | Data*. https://data.worldbank.org/income-level/lower-middle-income

Worldbank. (2022d). *Upper middle income | Data*. https://data.worldbank.org/income-level/upper-middle-income

Wright, C. Y., Godfrey, L., Armiento, G., Haywood, L. K., Inglesi-Lotz, R., Lyne, K., & Schwerdtle, P. N. (2019). Circular economy and environmental health in low- and middle-income countries. *Globalization and Health*, *15*(1), 65. https://doi.org/10.1186/s12992-019-0501-y

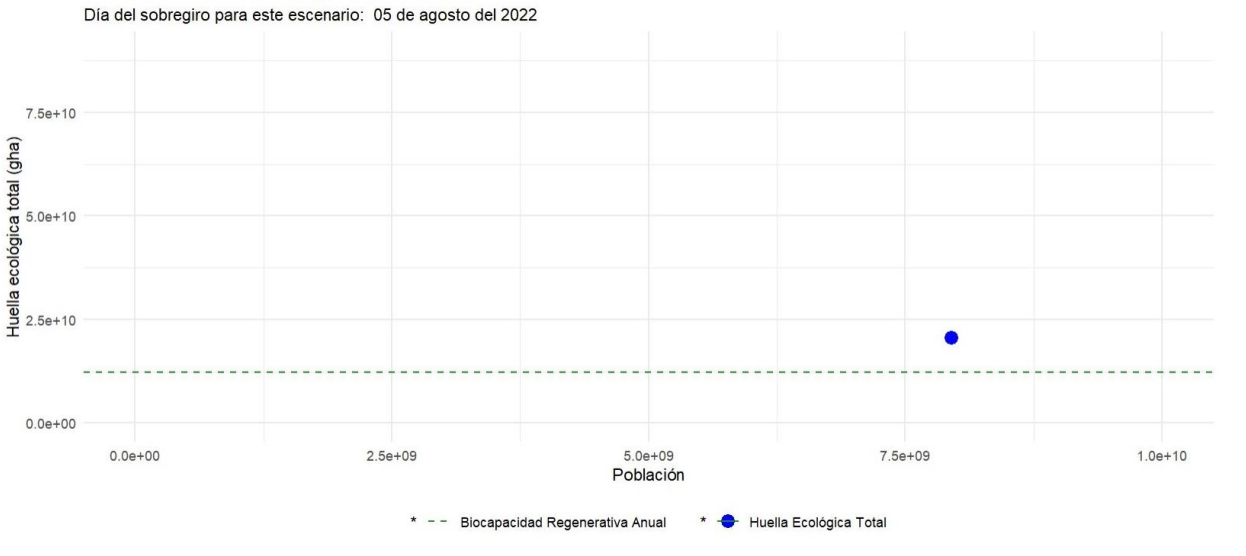
WWF. (2012). *Ecological Footprint and Investment in Natural Capital in Asia and the Pacific | UNEP - UN Environment Programme*. https://www.unep.org/resources/report/ecological-footprint-and-investment-natural-capital-asia-and-pacific

WWF. (2020). Living Planet Report 2020 - Bending the curve of biodiversity loss. *WWF*.

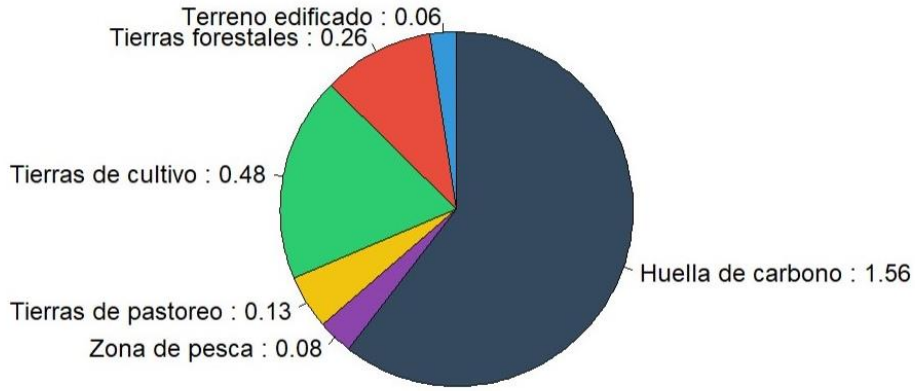
Zambrano-Monserrate, M. A., Ruano, M. A., Ormeño-Candelario, V., & Sanchez-Loor, D. A. (2020). Global ecological footprint and spatial dependence between countries. *Journal of Environmental Management*, *272*, 111069. https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.111069

# *Anexos*

**Anexo 1:** Población mundial vs Huella ecológica total - Mundial.

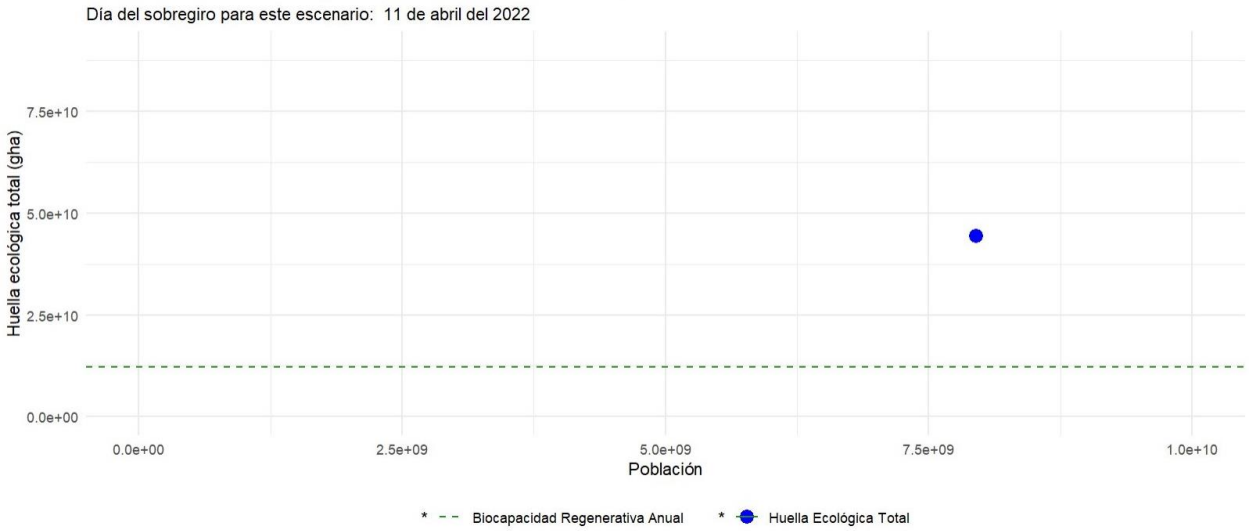



**Anexo 2:** Huella ecológica per cápita por categoría – Mundial.

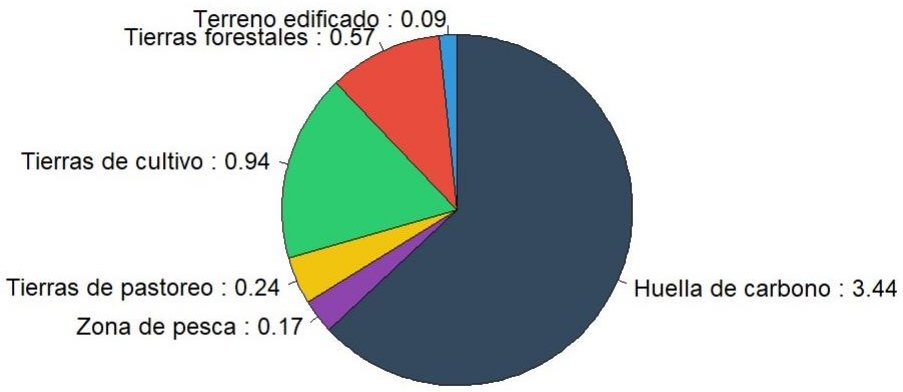



Huella ecológica per capita del consumo: 2.58 hectareas globales (gha)

**Anexo 3:** Población vs Huella ecológica total para escenario de países ingresos altos.

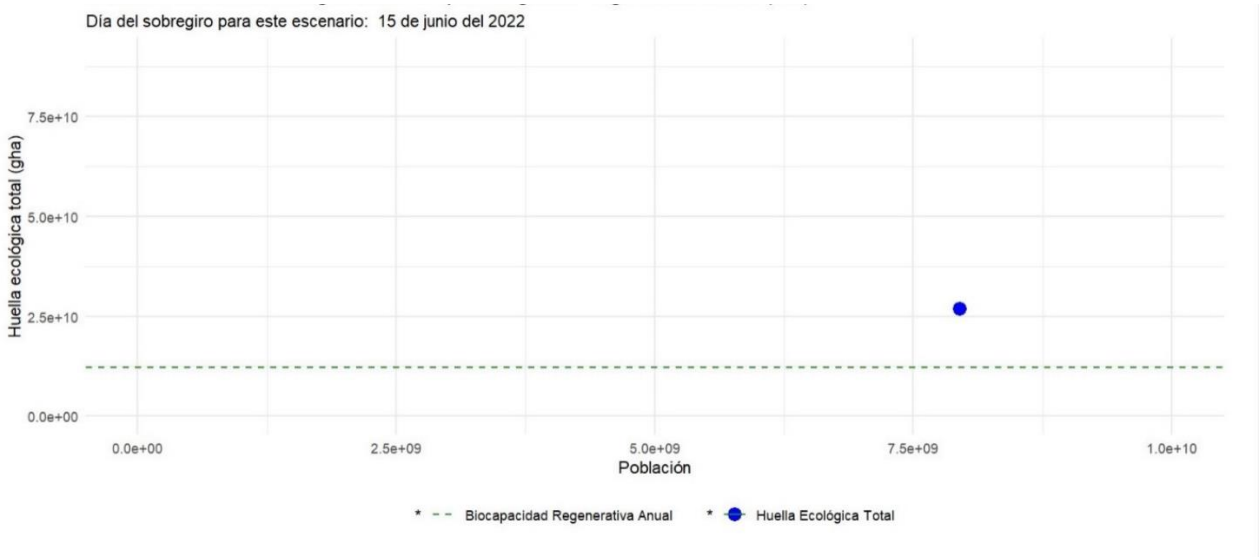


**Anexo 4:** Huella ecológica del consumo per cápita para el grupo de ingresos altos.

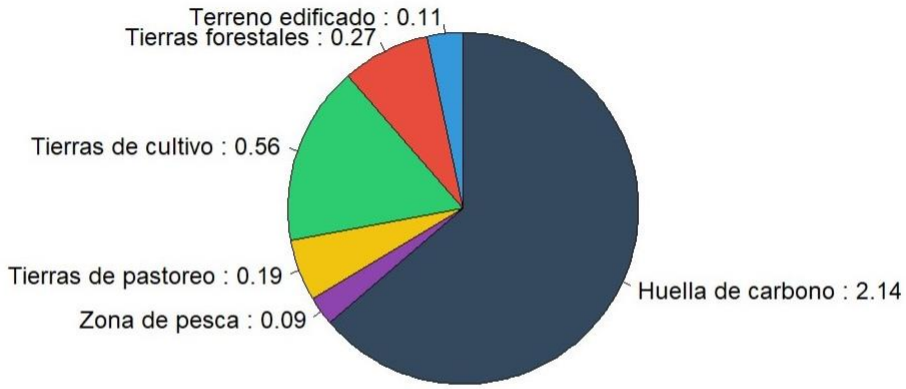



Huella ecológica per capita del consumo: 5.58 hectareas globales (gha)

**Anexo 5:** Población vs Huella ecológica total para escenario de países con ingreso medio alto.

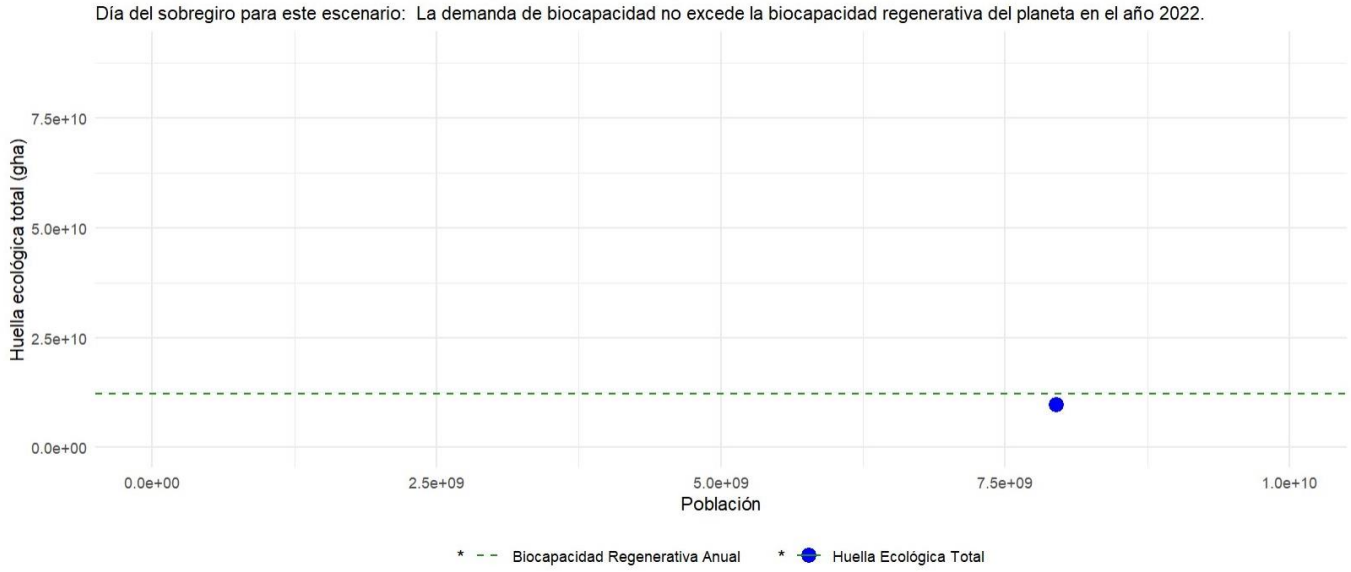


**Anexo 6:** Huella ecológica del consumo per cápita para el grupo de ingreso medio alto.

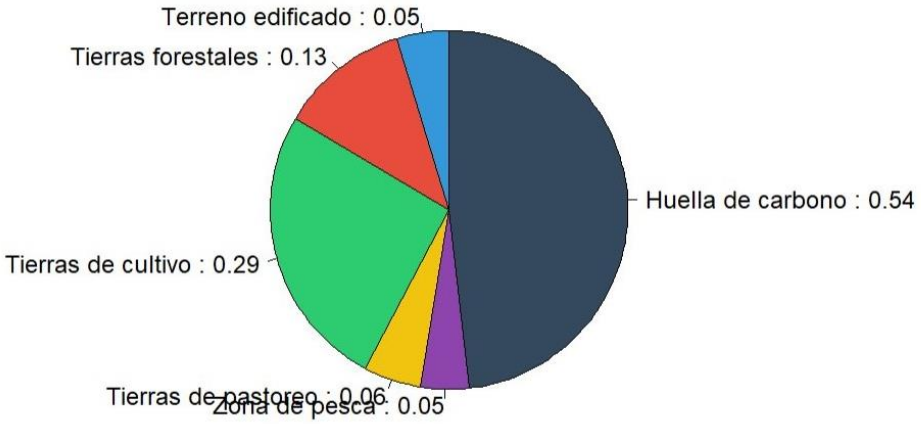



Huella ecológica per capita del consumo: 3.38 hectareas globales (gha)

**Anexo 7:** Población vs Huella ecológica total para escenario de países con ingresos medio bajos.

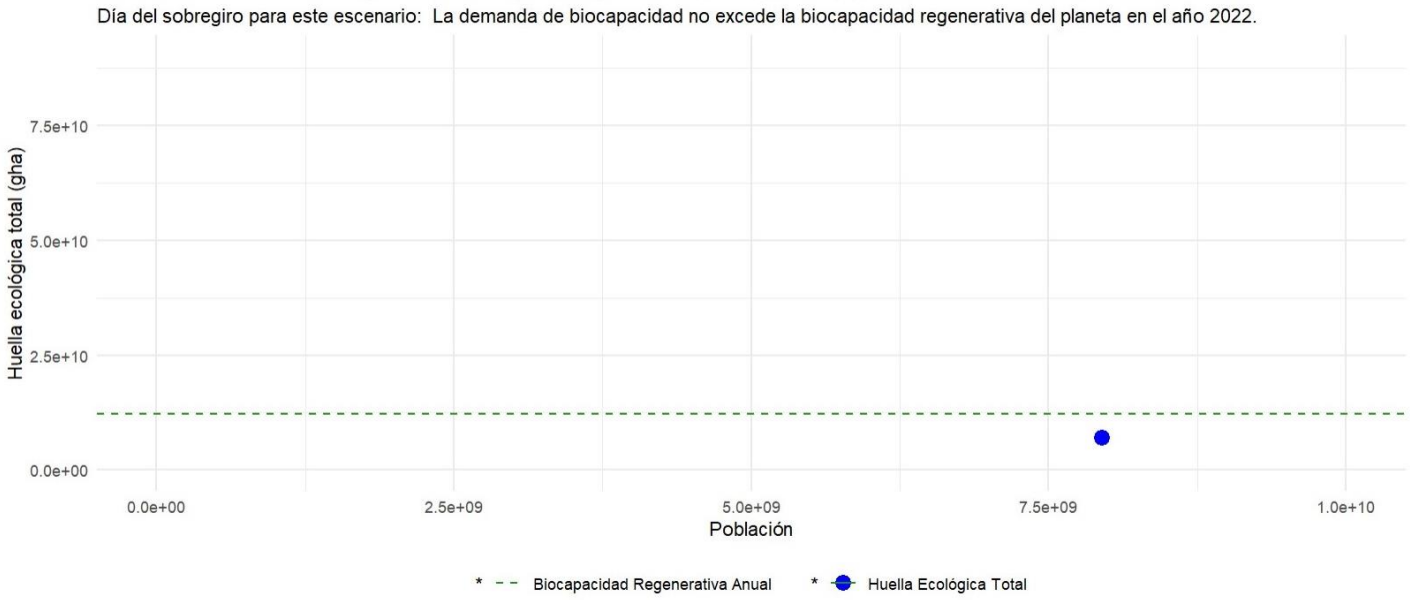


**Anexo 8:** Huella ecológica del consumo per cápita para el grupo de ingresos medio bajos.

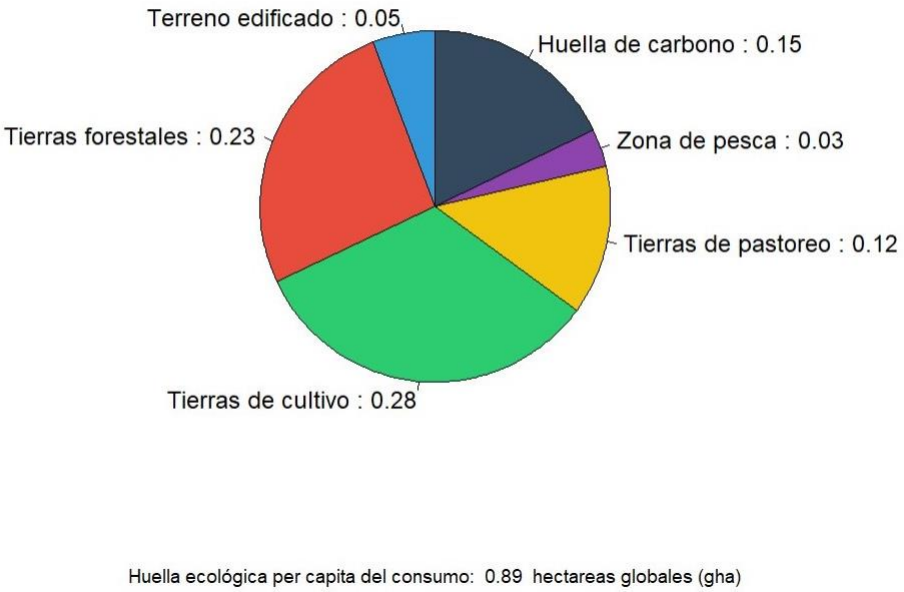



Huella ecológica per capita del consumo: 1.22 hectareas globales (gha)

**Anexo 9:** Población vs Huella ecológica total para escenario de países con ingresos bajos.



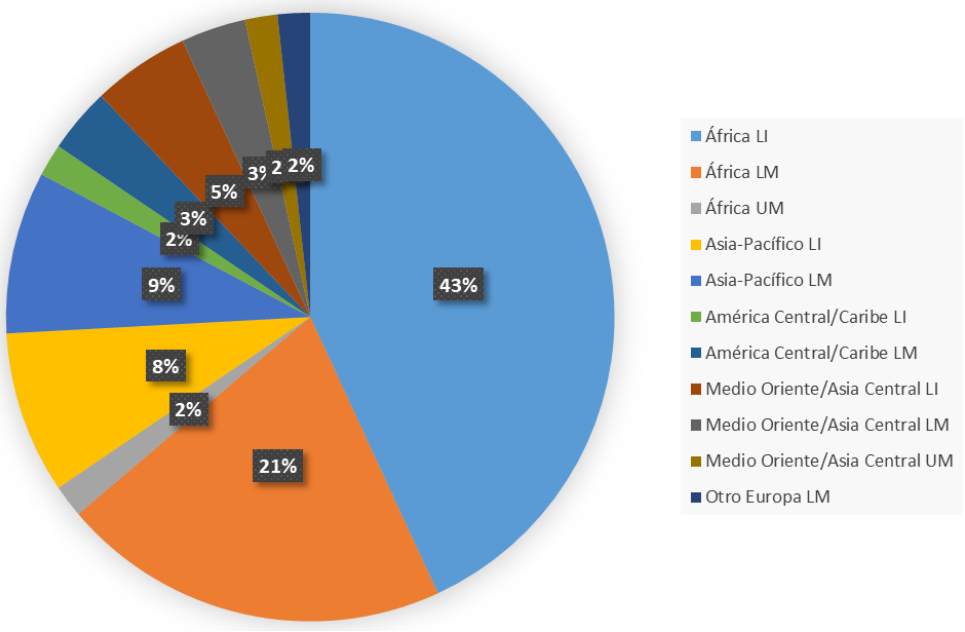
**Anexo 10:** Huella ecológica del consumo per cápita para el grupo de ingresos bajos.



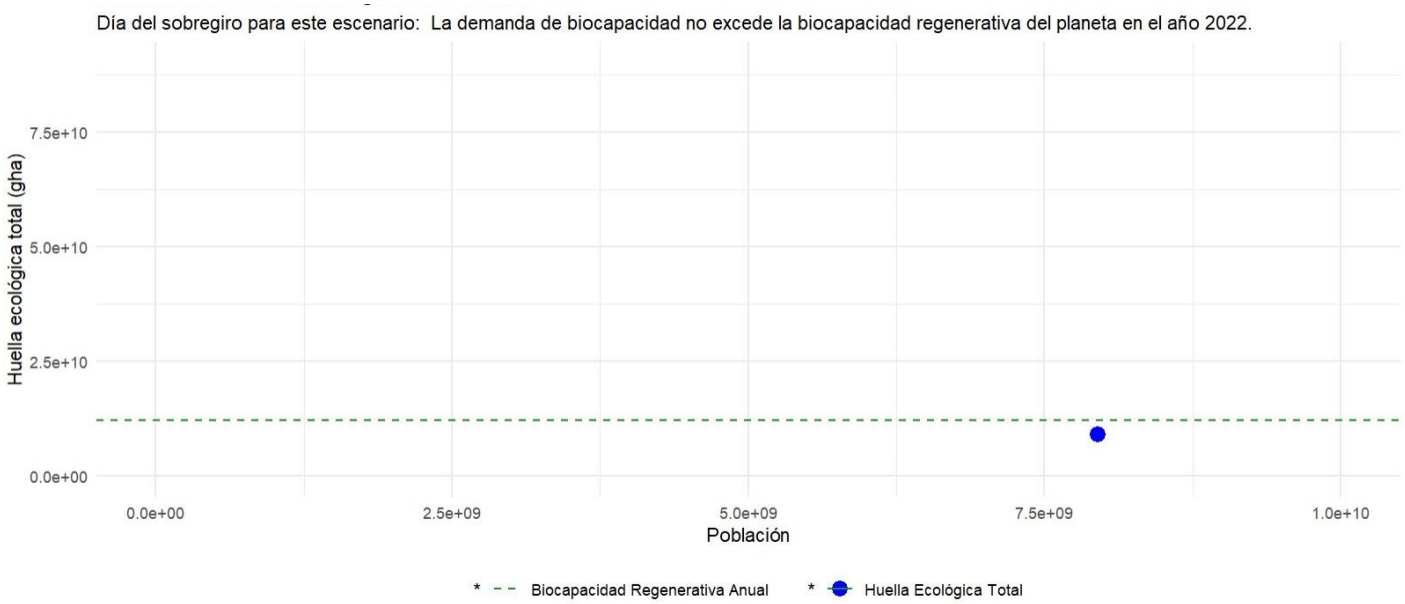

**Anexo 11:** Regiones y número de países que evitan el día de sobregiro bajo el escenario de población global.

| Región | Grupo_Ingresos | Número_Países | Promedio_Huella_Ecologica_Per_cápita |
|---|---|---|---|
| África | LI | 25 | 0.96 |
| África | LM | 12 | 1.09 |
| África | UM | 1 | 1.36 |
| Asia-Pacífico | LI | 5 | 1.04 |
| Asia-Pacífico | LM | 5 | 0.93 |
| América Central/Caribe | LI | 1 | 0.59 |
| América Central/Caribe | LM | 2 | 1.42 |
| Medio Oriente/Asia Central | LI | 3 | 1.12 |
| Medio Oriente/Asia Central | LM | 2 | 0.81 |
| Medio Oriente/Asia Central | UM | 1 | 1.30 |
| Otro Europa | LM | 1 | 1.52 |

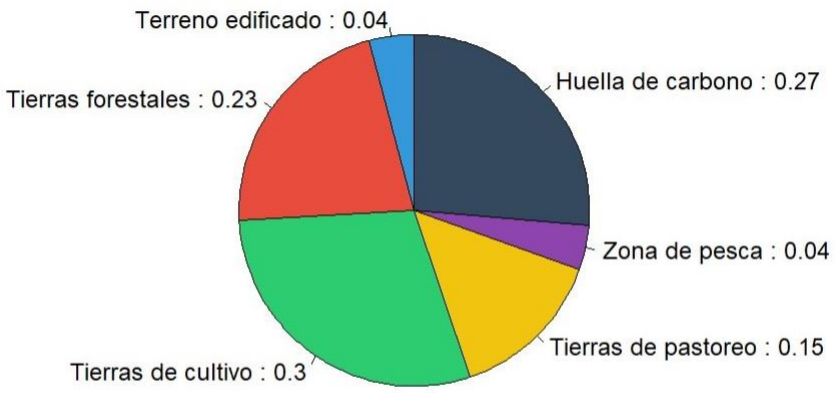
**Anexo 12:** Regiones y número de países que evitan el día de sobregiro bajo el escenario de población global.




**Anexo 13:** Población vs Huella ecológica total para el escenario de África.

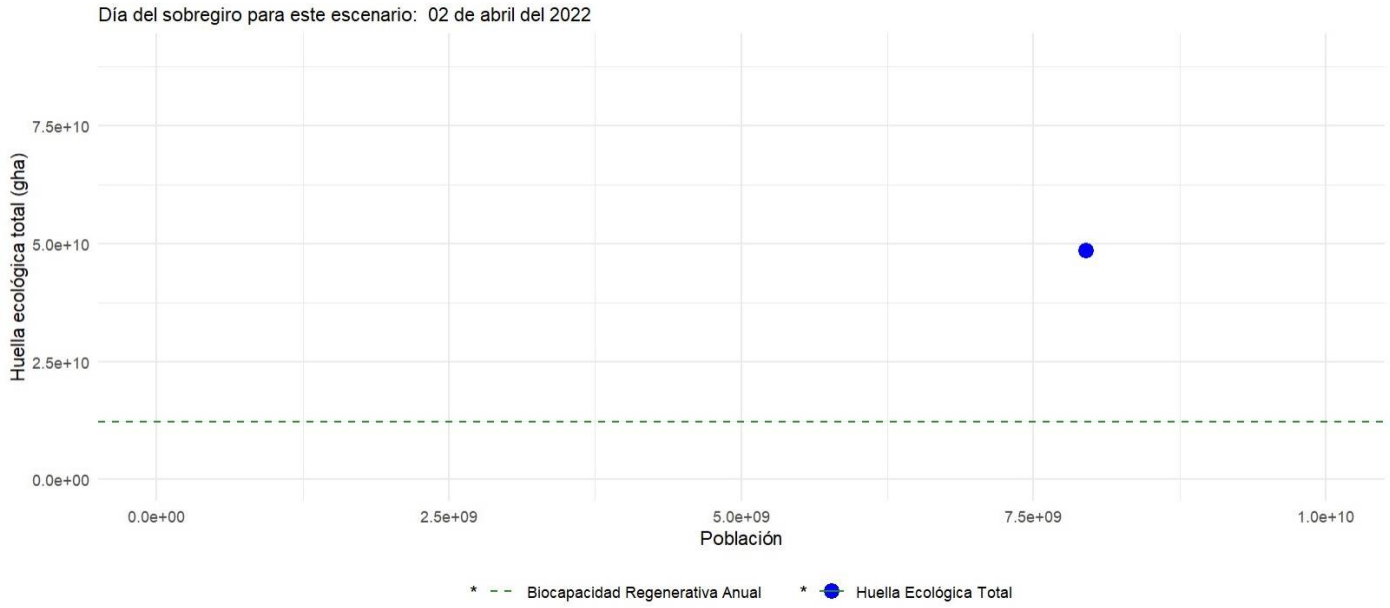


**Anexo 14:** Huella ecológica del consumo per cápita para África

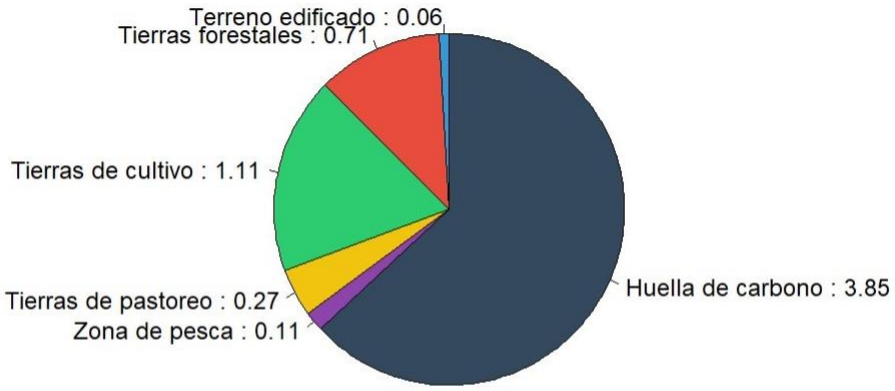



Huella ecológica per capita del consumo: 1.15 hectareas globales (gha)

**Anexo 15:** Población vs Huella ecológica total para el escenario de América del Norte.

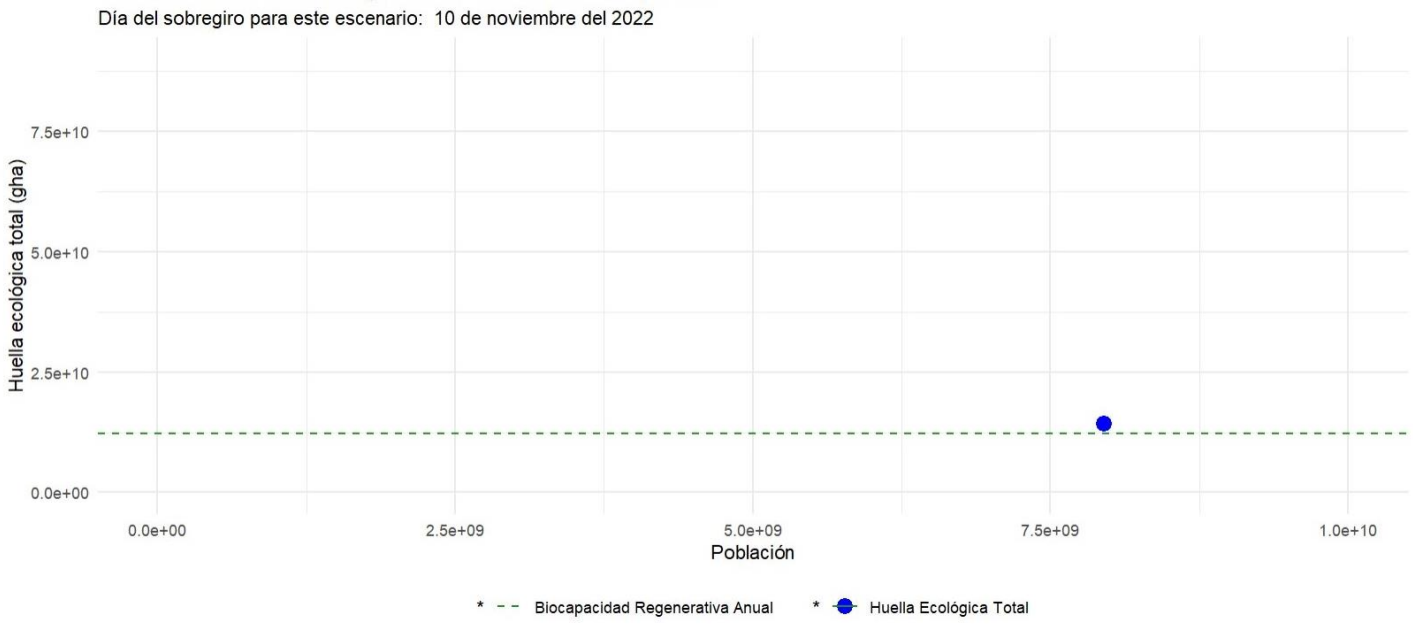


**Anexo 16:** Huella ecológica del consumo per cápita para América del Norte.

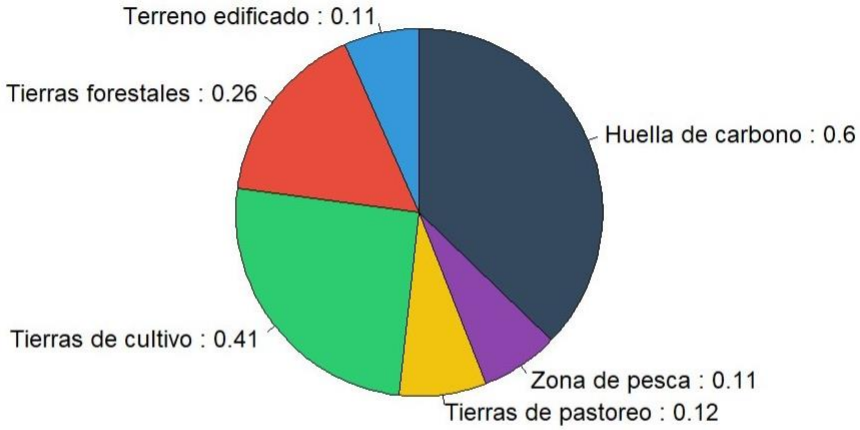



Huella ecológica per capita del consumo: 6.11 hectareas globales (gha)

**Anexo 17:** Población vs Huella ecológica total para el escenario de Centroamérica y el Caribe

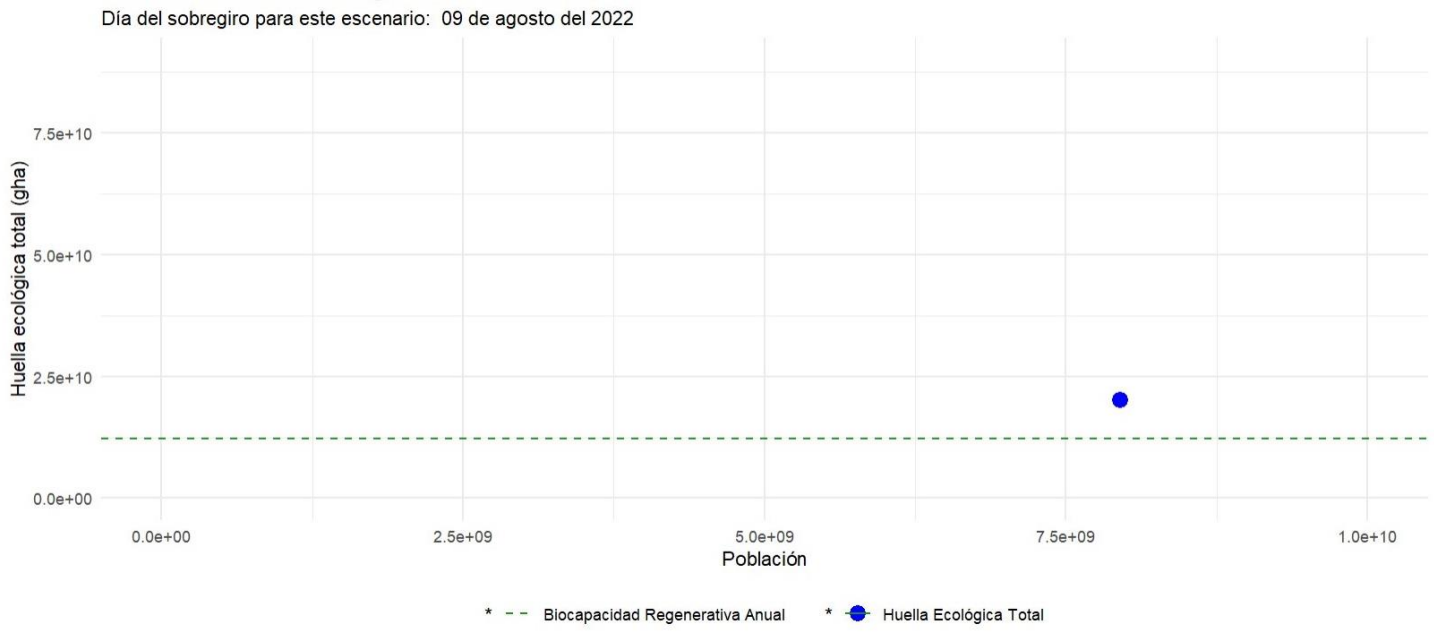


**Anexo 18:** Huella ecológica del consumo per cápita para Centroamérica y el Caribe




Huella ecológica per capita del consumo: 1.79 hectareas globales (gha)

**Anexo 19:** Población vs Huella ecológica total para el escenario de Sudamérica.

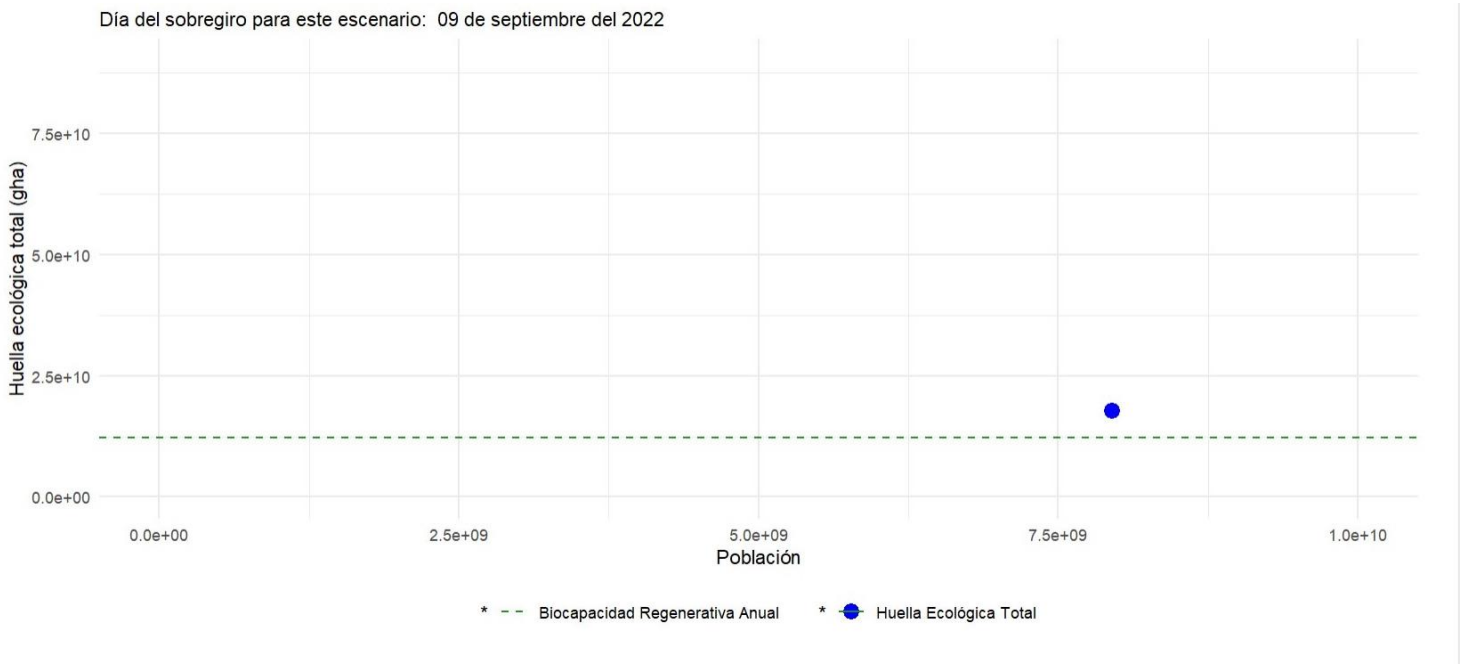


**Anexo 20:** Huella ecológica del consumo per cápita para Sudamérica.

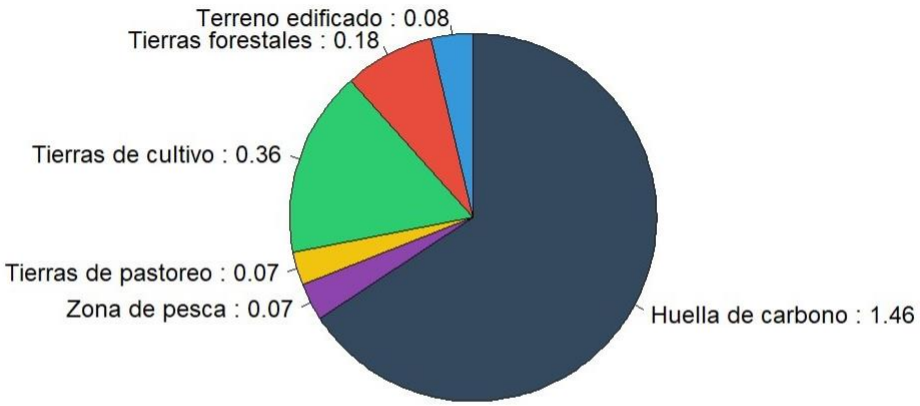



Huella ecológica per capita del consumo: 2.54 hectareas globales (gha)

**Anexo 21:** Población vs Huella ecológica total para el escenario de Asia-Pacífico.

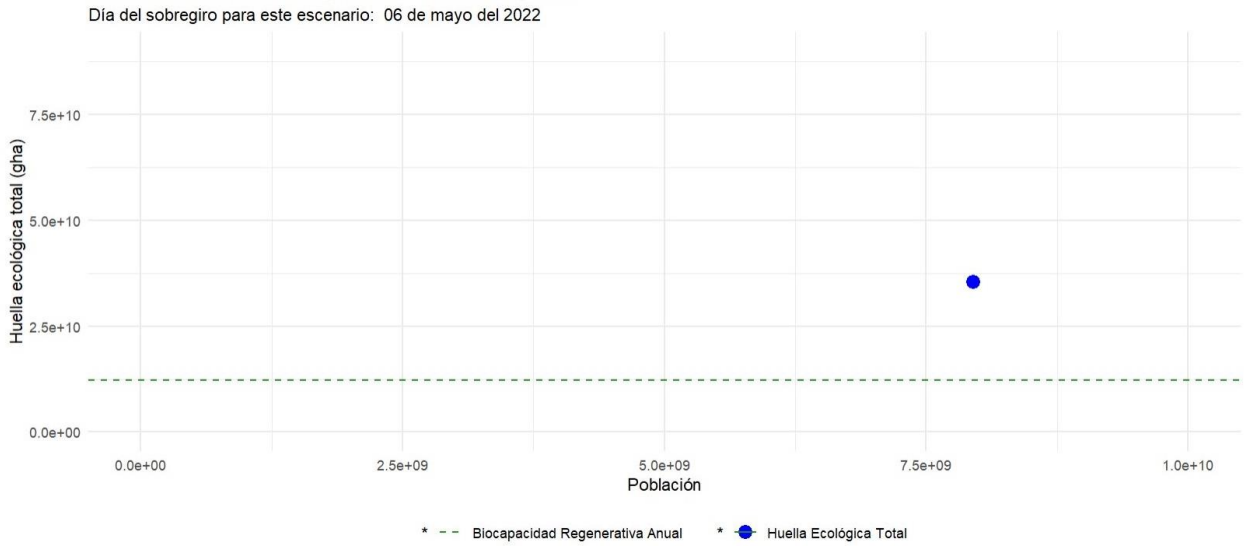


**Anexo 22:** Huella ecológica del consumo per cápita para Asia-Pacífico.

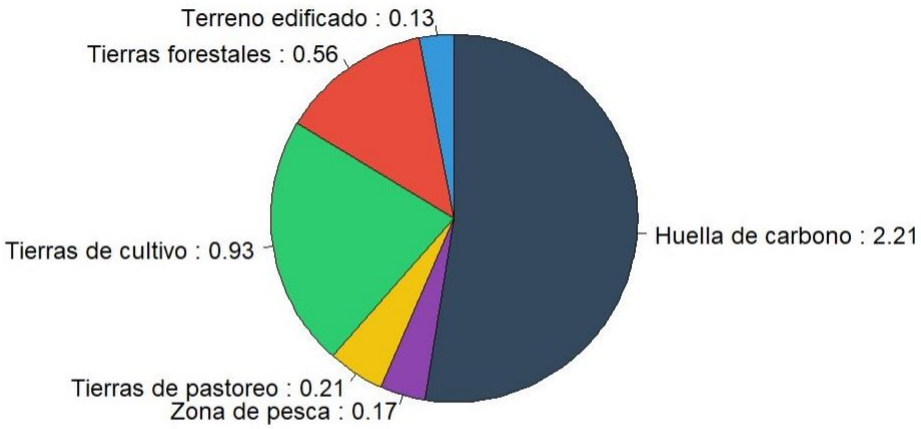



Huella ecológica per capita del consumo: 2.23 hectareas globales (gha)

**Anexo 23:** Población vs Huella ecológica total para el escenario de Unión Europa 27.

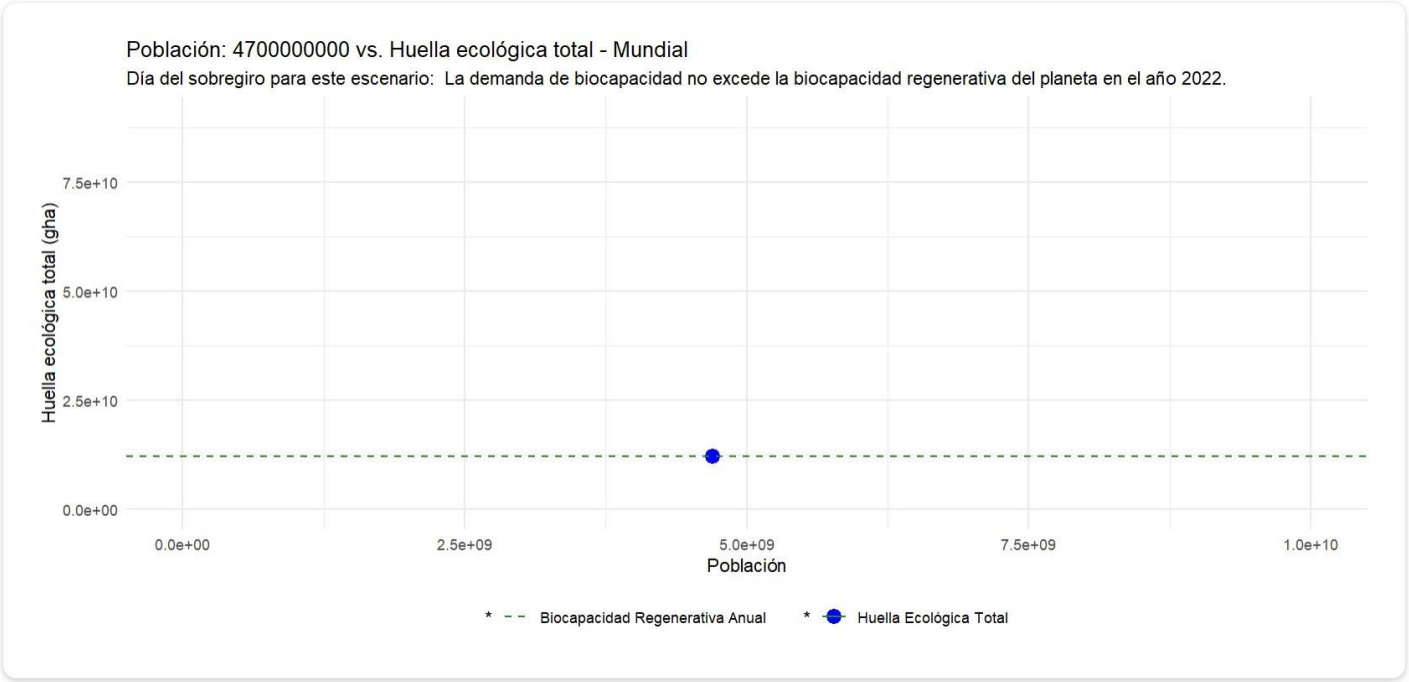


**Anexo 24:** Huella ecológica del consumo per cápita para Unión Europa 27.

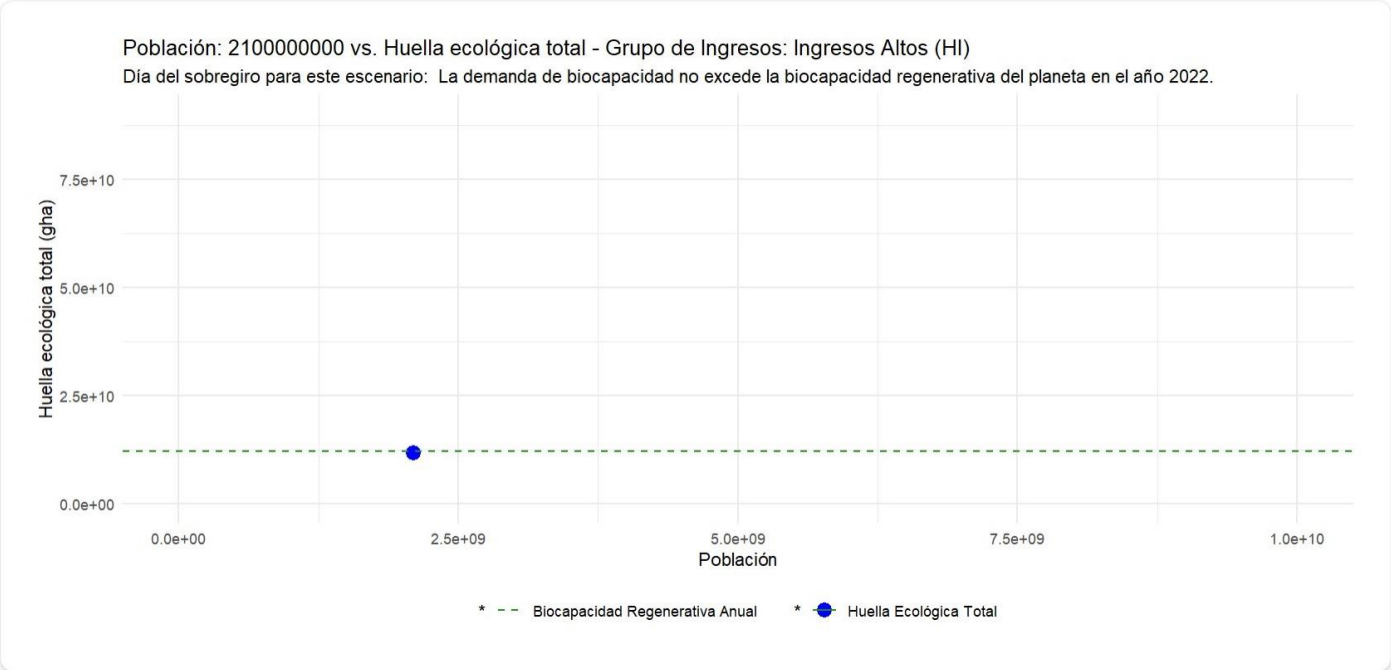



Huella ecológica per capita del consumo: 4.46 hectareas globales (gha)

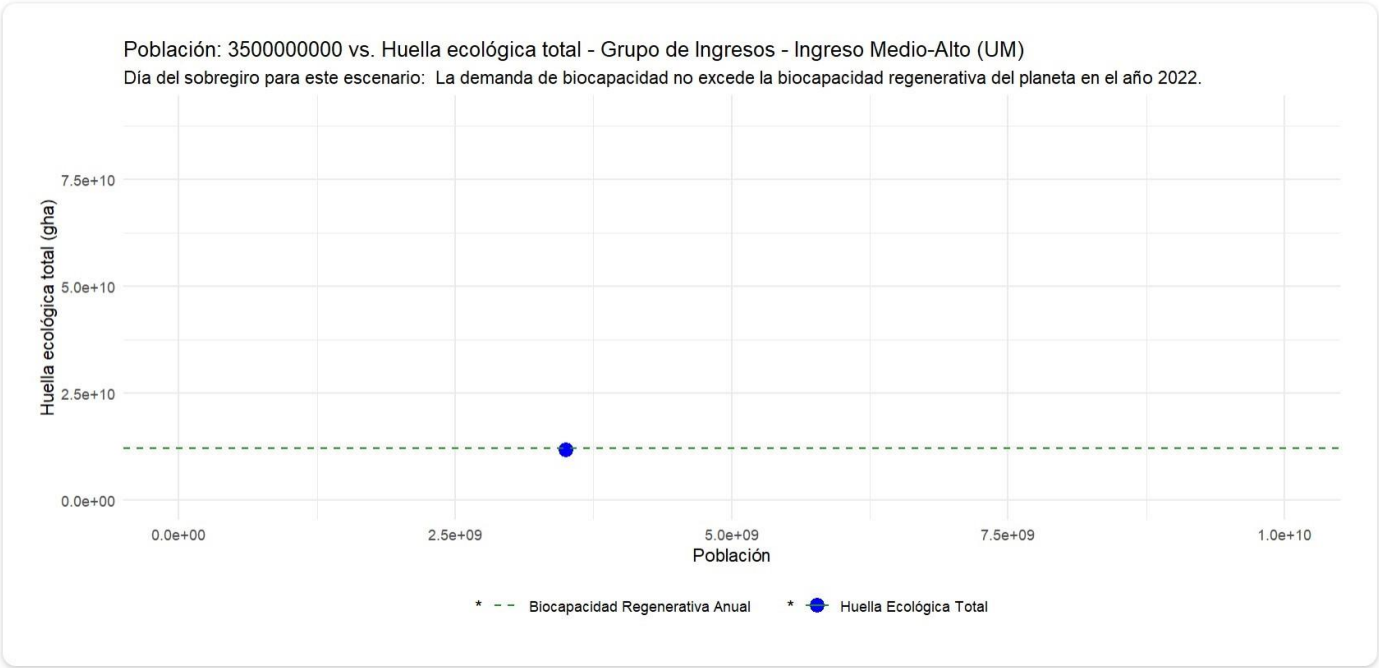
**Anexo 25:** Escenario mundial con variación en la población.



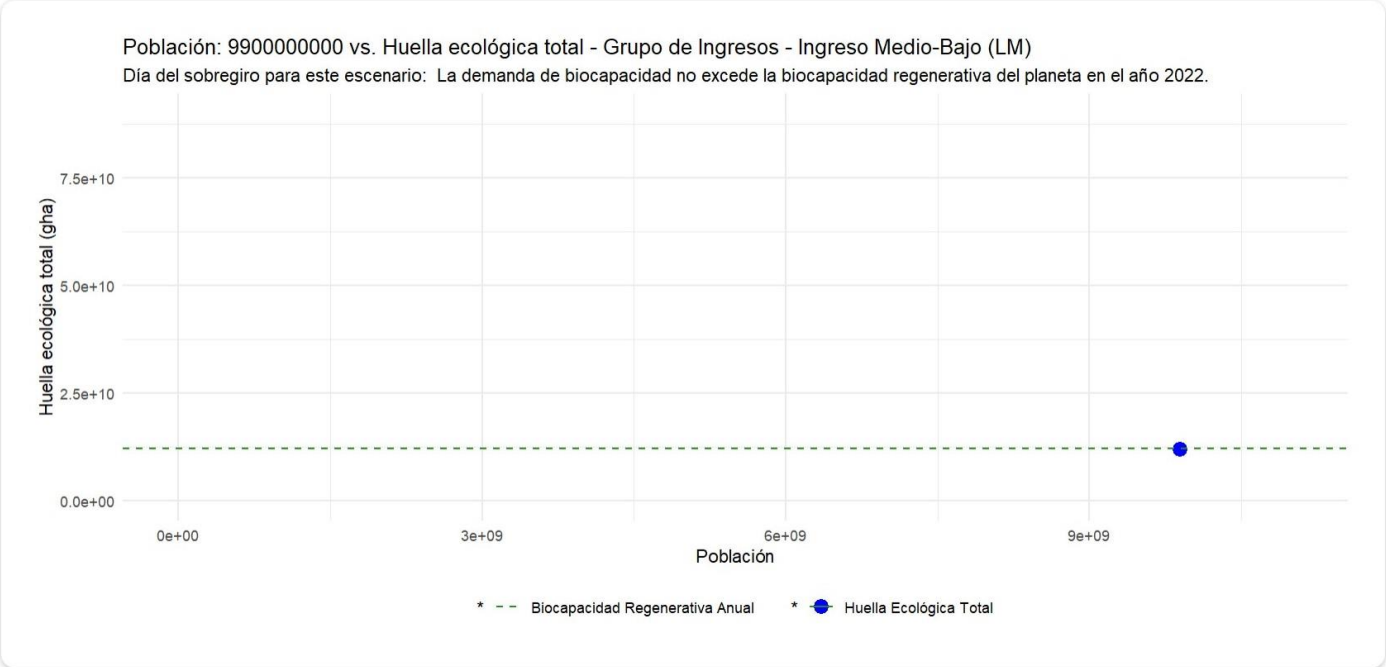
**Anexo 26:** Escenario para países con ingresos altos con variación de la población.



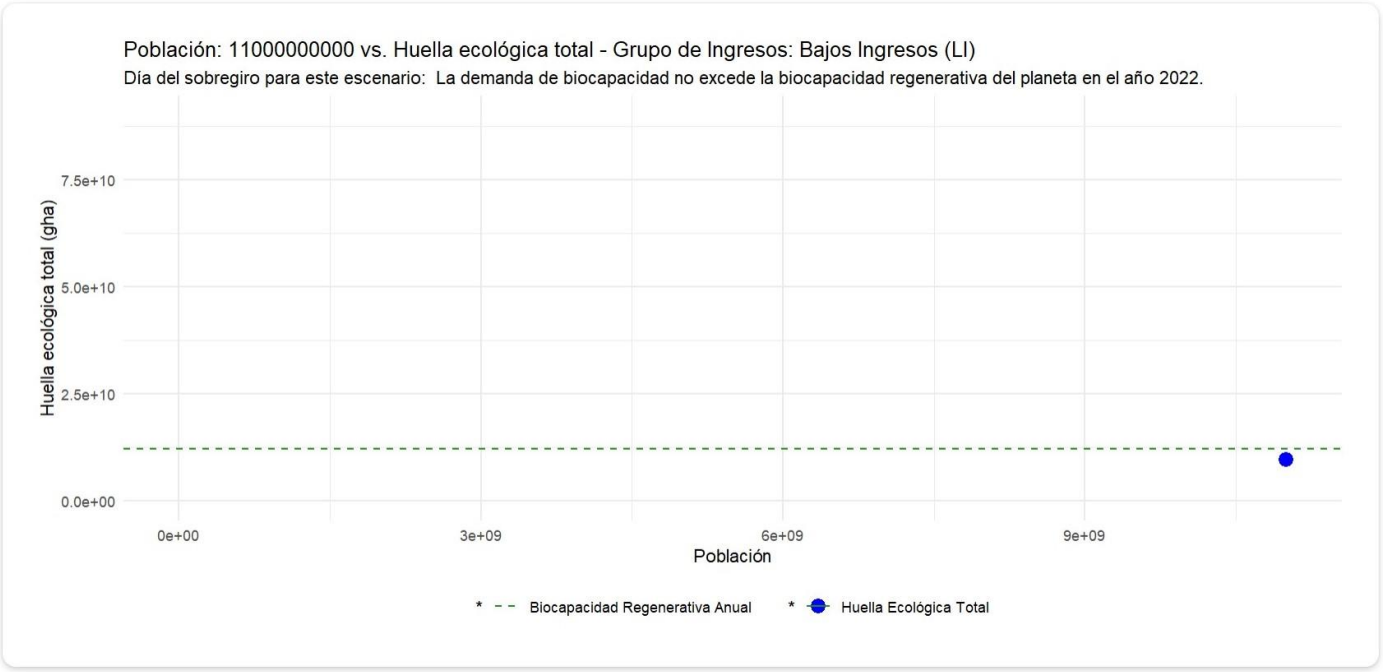

**Anexo 27:** Escenario para países con ingresos medio altos con variación de la población.



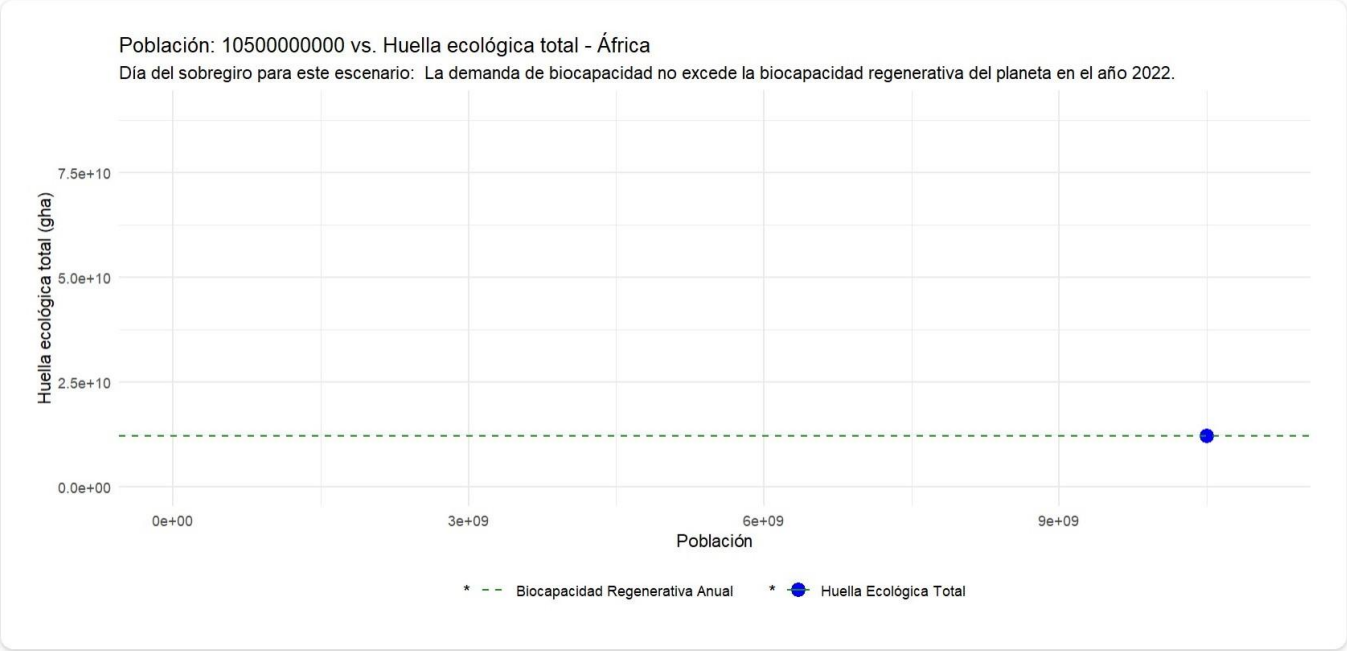
**Anexo 28:** Escenario para países con ingresos medio bajos con variación de población.



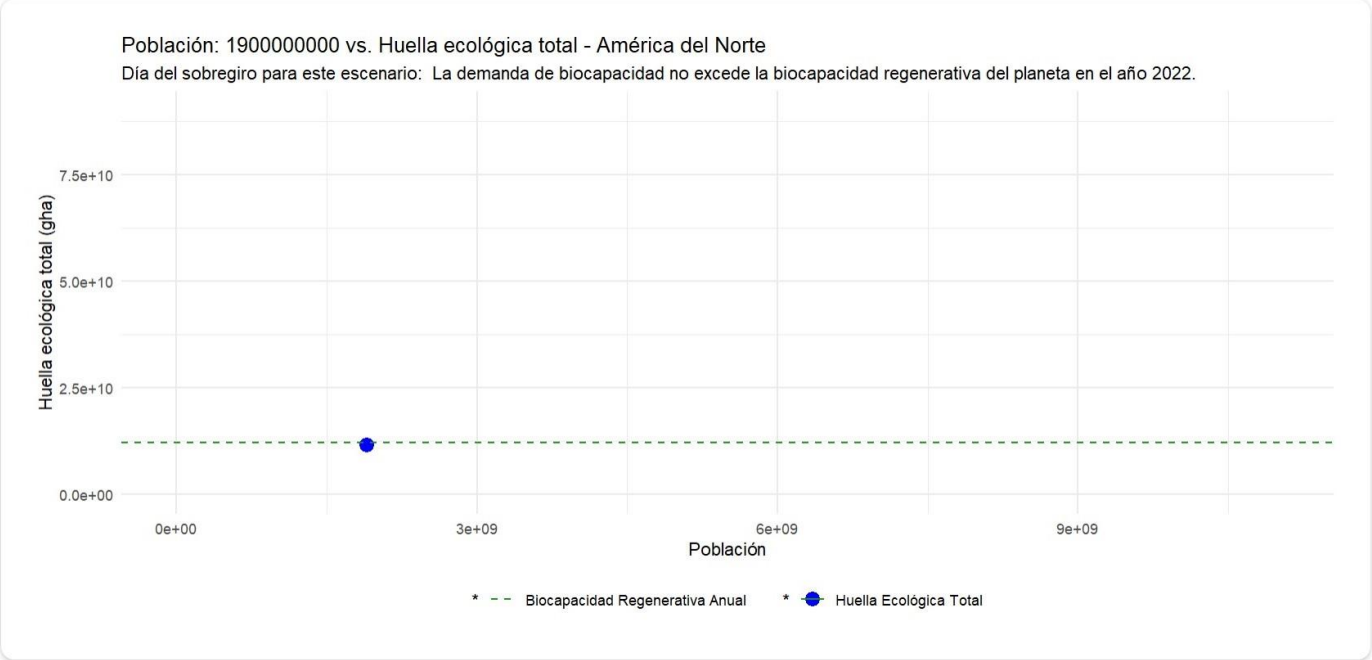

**Anexo 29:** Escenario para países con ingresos bajos con variación de población.



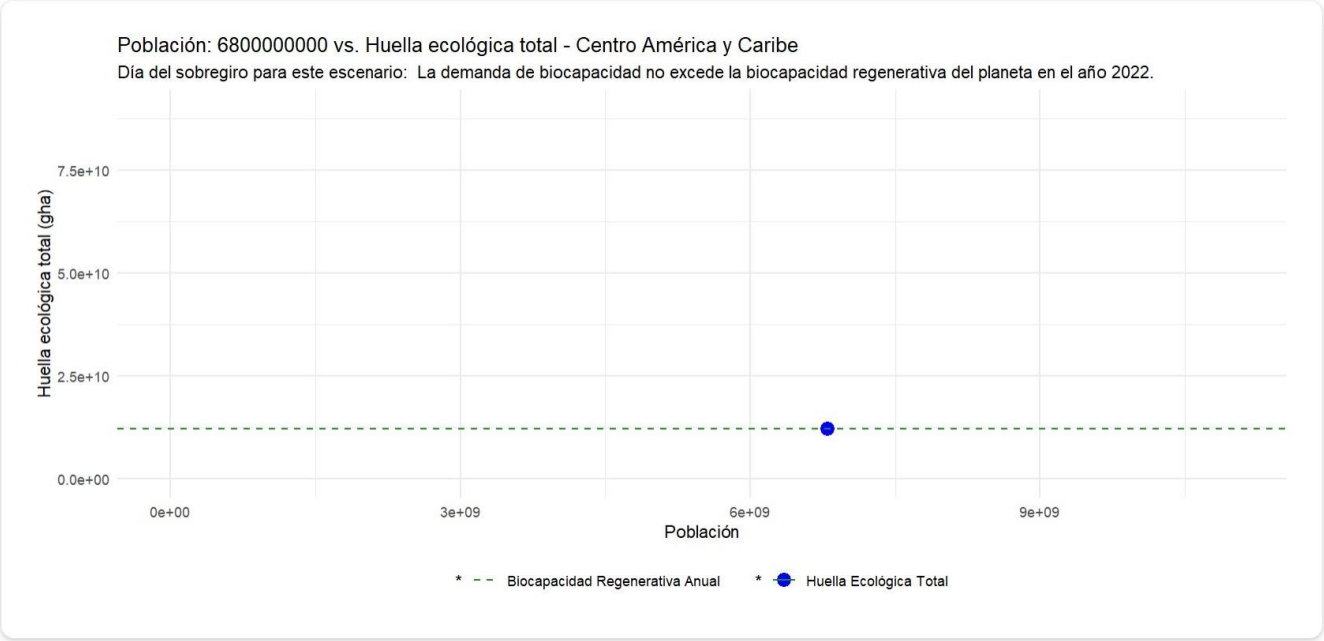
**Anexo 30:** Escenario para África con variación de población.



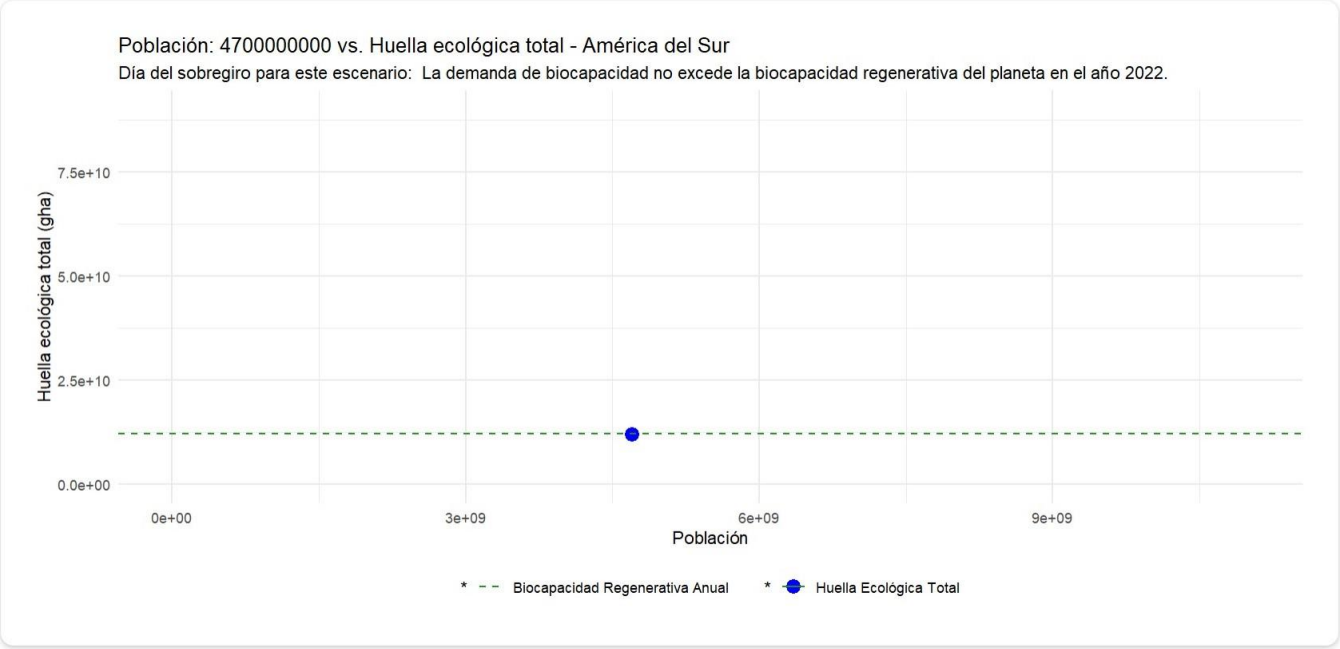

**Anexo 31:** Escenario para Norte América con variación de población.



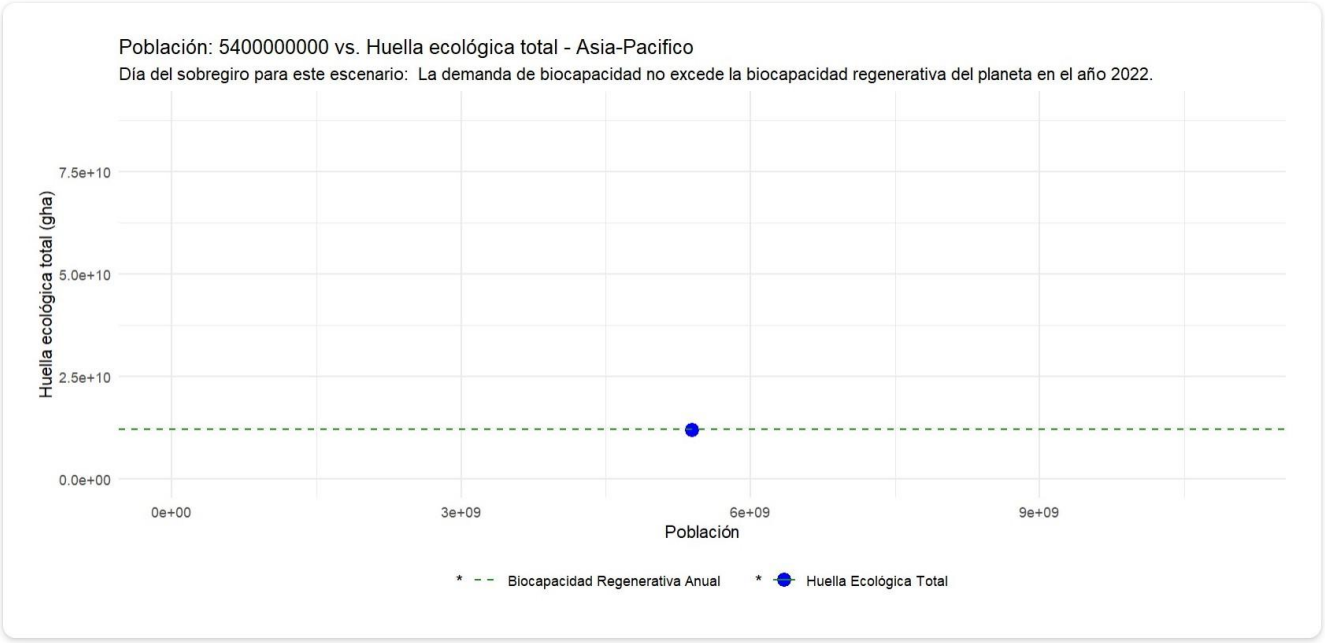
**Anexo 32:** Escenario para Centroamérica y el Caribe con variación de población.



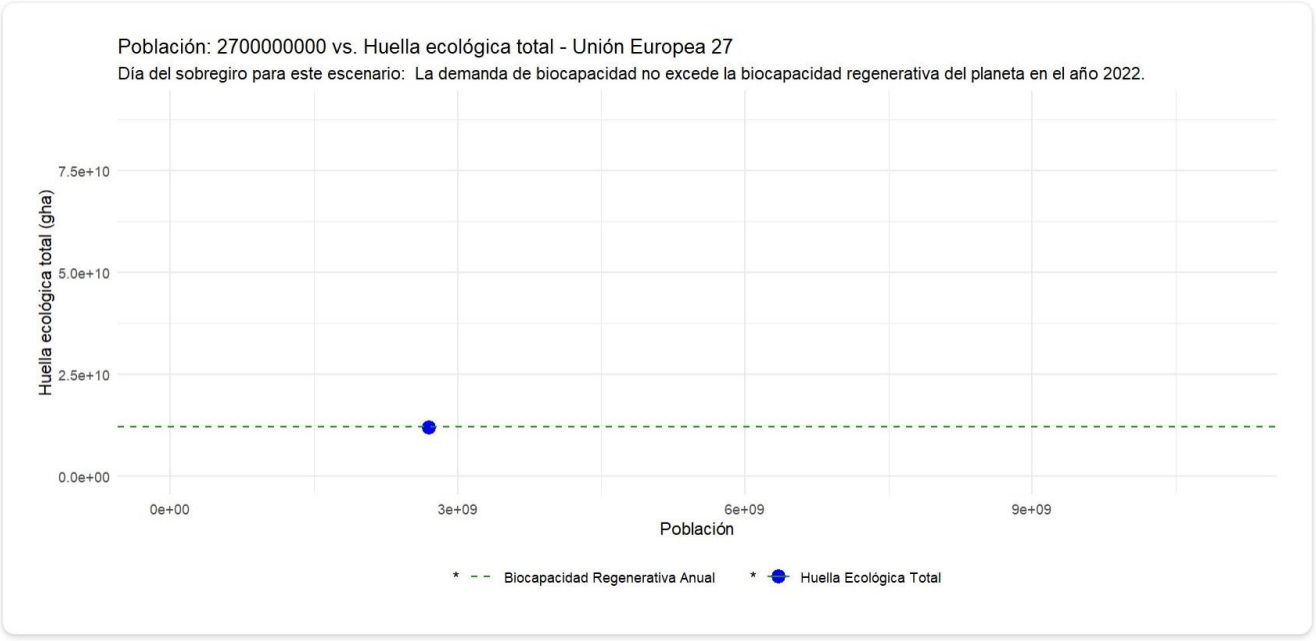

**Anexo 33:** Escenario para Sudamérica con variación de población.



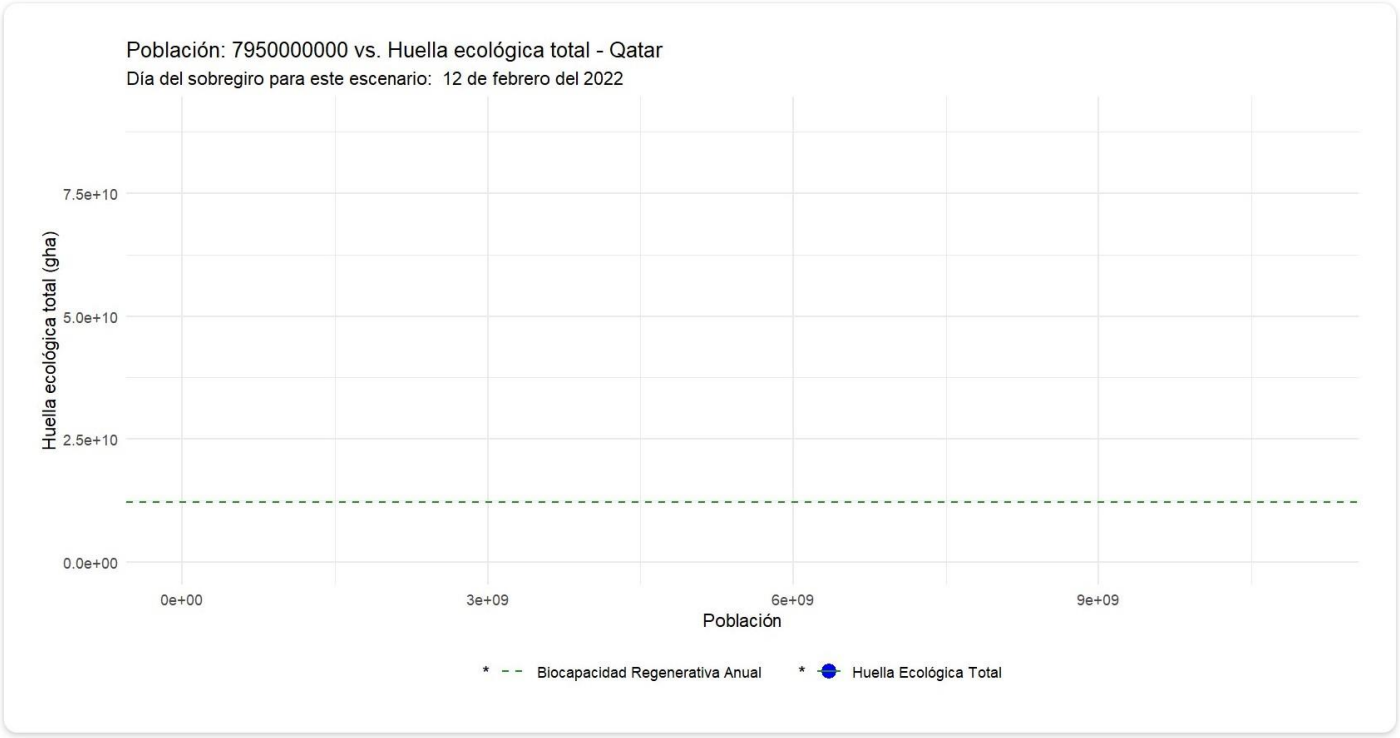
**Anexo 34:** Escenario para Asia Pacífico con variación de población.



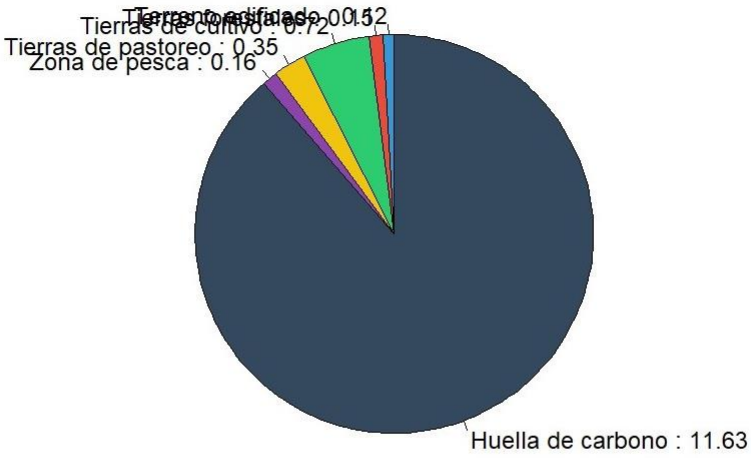

**Anexo 35:** Escenario para Unión Europea con variación de población.



**Anexo 36:** Población vs Huella ecológica total para el escenario de Qatar.

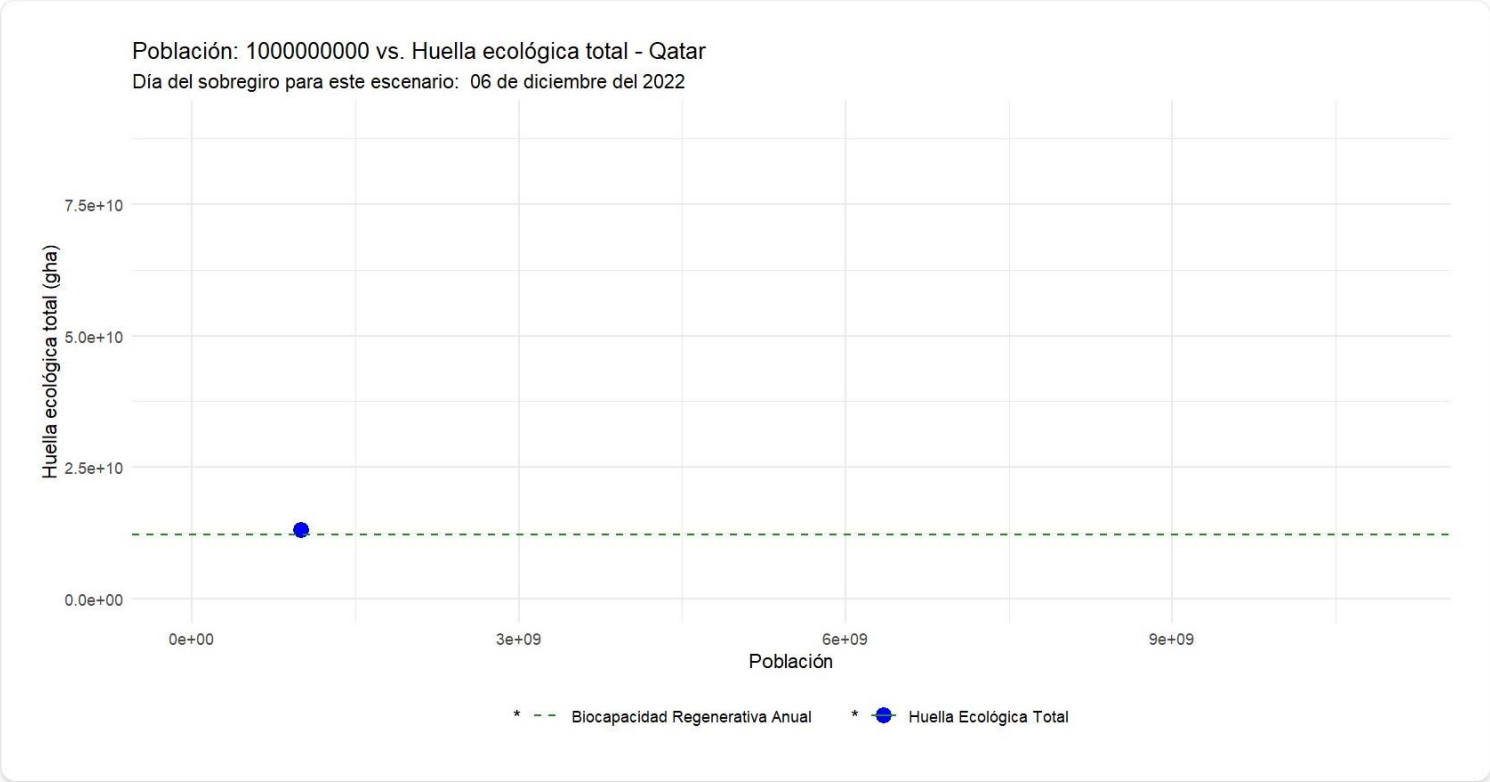



**Anexo 37:** Huella ecológica del consumo per cápita para Qatar.

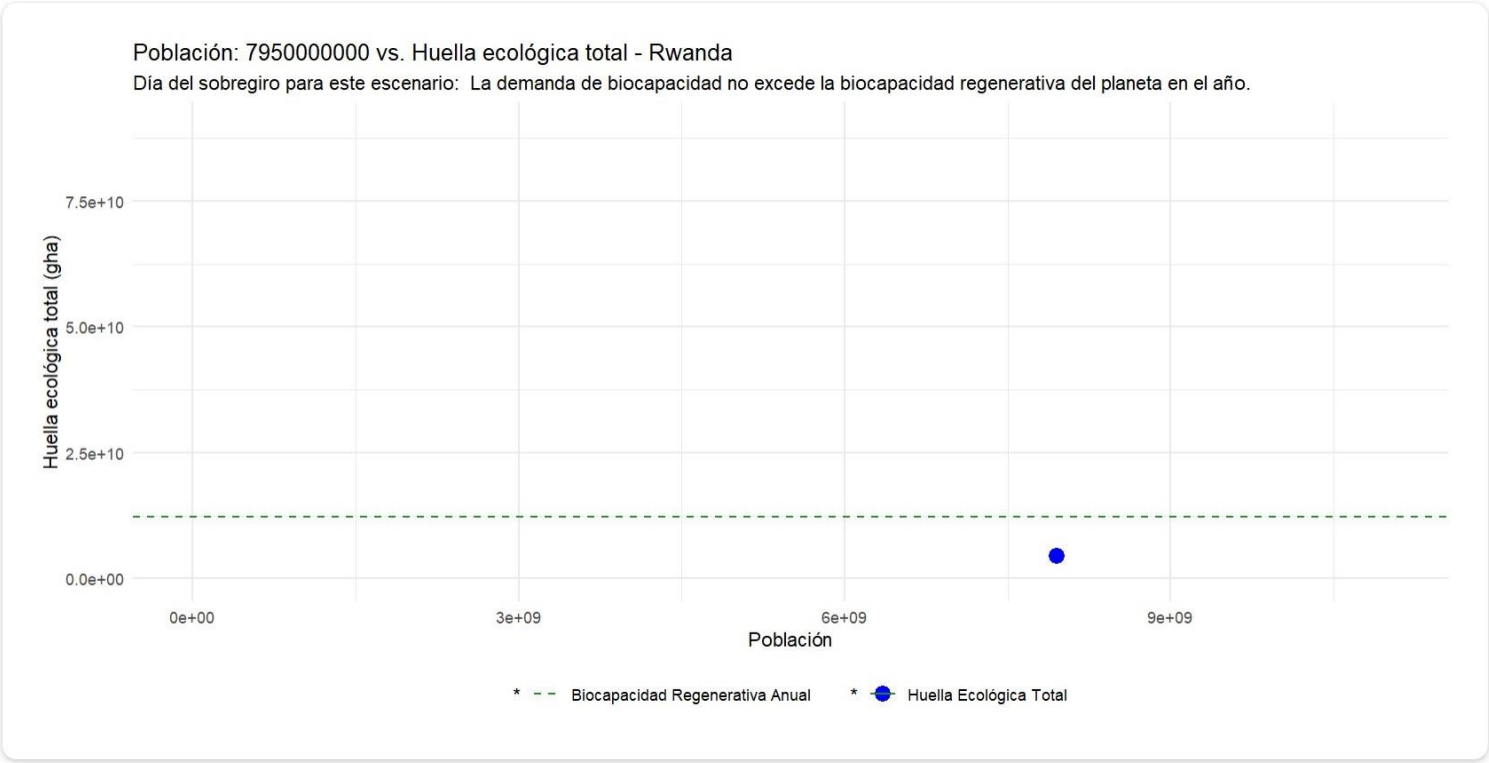



Huella ecológica per capita del consumo: 13.13 hectareas globales (gha)

**Anexo 38:** Escenario para Qatar con variación de la población.




**Anexo 39:** Población vs Huella ecológica total para el escenario de Ruanda.

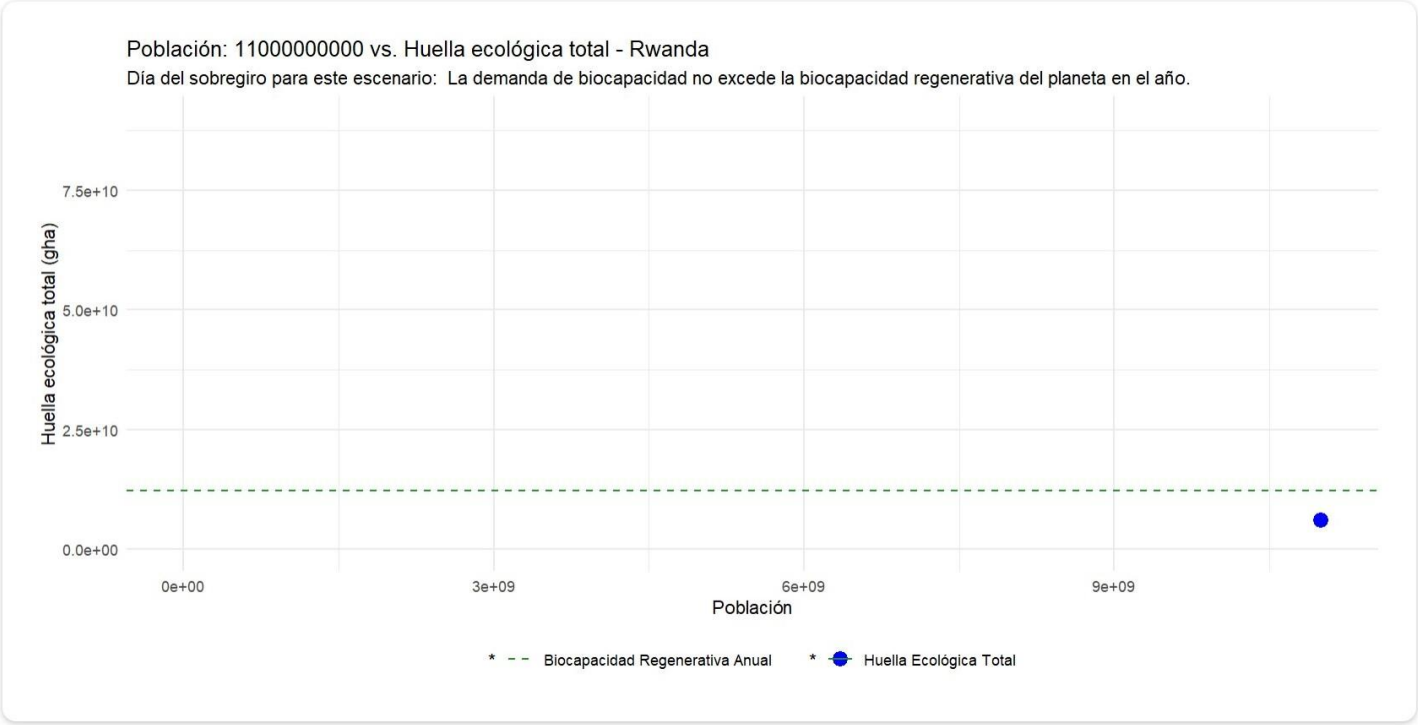


**Anexo 40:** Huella ecológica del consumo per cápita para Ruanda.

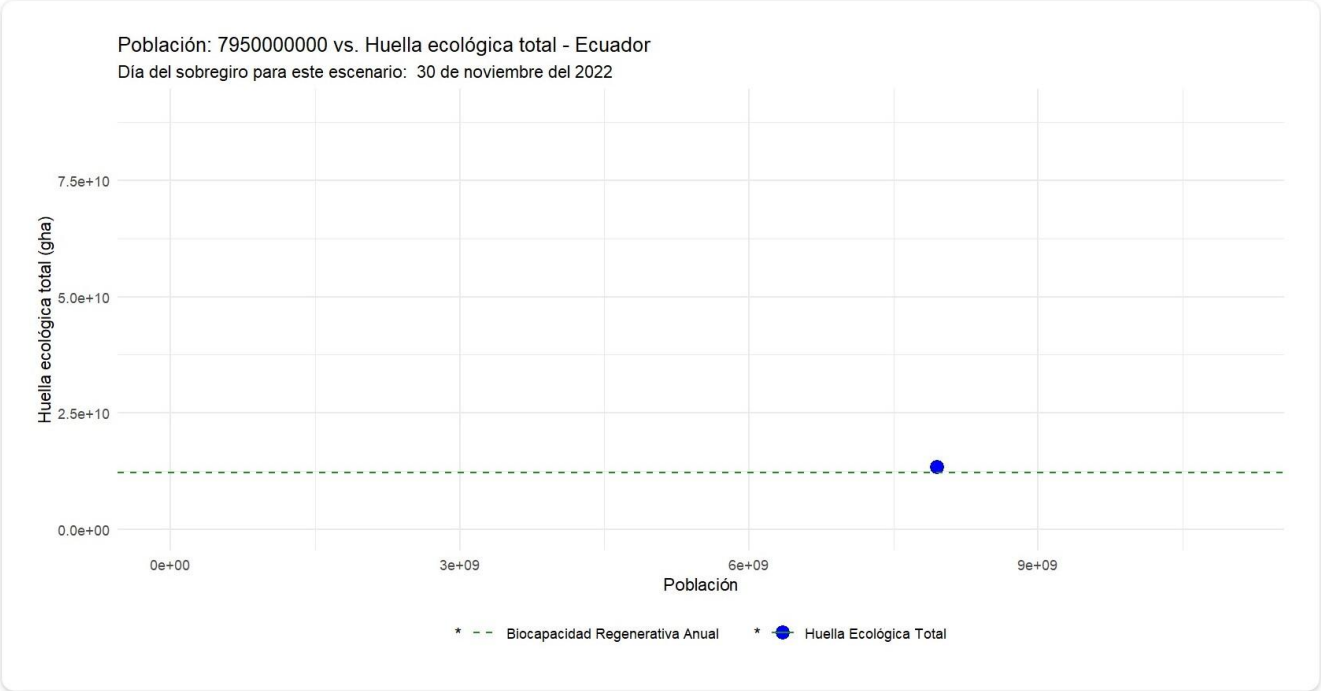



Huella ecológica per capita del consumo: 0.55 hectareas globales (gha)

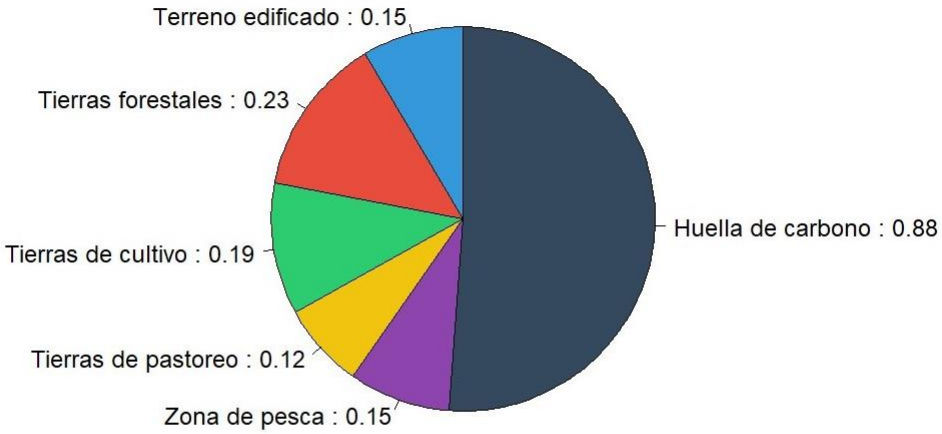
**Anexo 41:** Escenario para Ruanda con variación de la población.



**Anexo 42:** Población vs Huella ecológica total para el escenario de Ecuador.

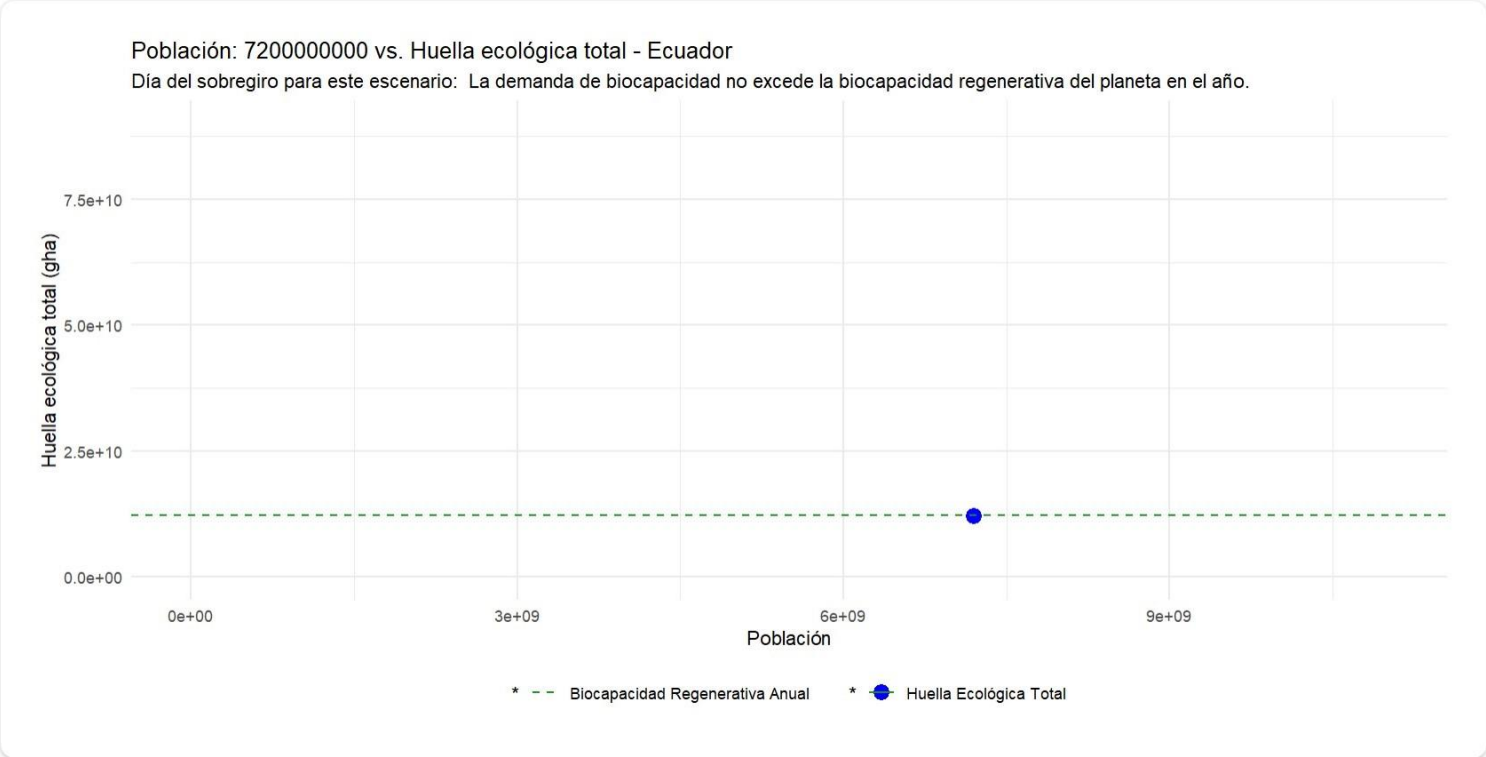



**Anexo 43:** Huella ecológica del consumo per cápita para Ecuador.




Huella ecológica per capita del consumo: 1.68 hectareas globales (gha)

**Anexo 44:** Escenario para Ecuador con variación de la población.




**Anexo 45:** Aplicativo desarrollado en el software estadístico R para la creación de escenarios.
URL: [dabor238.shinyapps.io/overshoot/](dabor238.shinyapps.io/overshoot/)

**Nota aclaratoria.** Debido a que los cálculos y gráficos fueron realizados en el software estadístico R, la separación de decimales en los gráficos se expresa con punto en lugar de coma para evitar fallos en el procesamiento de datos.