

# EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO PARA EL DISEÑO DE ESTRATEGIAS SUSTENTABLES EN PRODUCCIÓN DE AGUACATE

Agricultura y  
alimentos  
sustentables

Reducción  
emisiones

Huella  
Carbono

Planes  
reducción

Ahorro  
energético

CO<sub>2</sub>

A hand in a dark suit sleeve points towards a green hexagonal icon. The icon features a white downward-pointing arrow above the chemical formula 'CO<sub>2</sub>' in white text. The background of the entire image is a collage of blue and green geometric shapes, including hexagons and triangles, overlaid on a blurred image of a person in a business suit.

# Resumen

La Huella de Carbono es una herramienta internacional que mide el total de gases de efecto invernadero generados dentro de un proceso de producción o servicio. Este indicador se expresa en términos de CO<sub>2</sub> equivalente y permite conocer el impacto que tiene un proceso productivo en el cambio climático.

La agricultura, al tiempo que resulta afectada por el cambio climático, contribuye a este fenómeno al presentarse como una fuente de emisiones de gases de efecto invernadero. Las emisiones de origen agrícola son generadas dentro de los procesos de la agricultura intensiva por el uso de fertilizantes nitrogenados, el uso de energía eléctrica (especialmente para riego) y el consumo de combustibles fósiles. Sin embargo, estas emisiones pueden ser minimizadas o mitigadas a través de modificaciones en las prácticas agrícolas, con el doble beneficio de obtener alimentos sustentables y con menor impacto al ambiente.

El presente documento muestra los resultados de un estudio pionero en la estimación de la Huella de Carbono de un sistema agroalimentario en México. El estudio utiliza una metodología innovadora donde se considera, además de la metodología ISO 14064, la fijación *in situ* de CO<sub>2</sub> del sistema productivo.

El proyecto se implementó en dos ranchos productores de aguacate Hass (*Persea americana* Mill) en Zapotlán El Grande, Jalisco, México donde se estimaron las emisiones producidas por el consumo de combustibles fósiles, energía eléctrica, uso de fertilizantes, manejo de residuos y empaque; así como la capacidad de fijación de Carbono en ambos sitios.

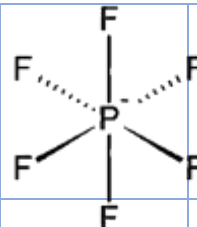
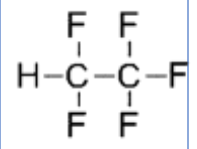
Además de presentar los resultados obtenidos, este informe enumera una serie de recomendaciones encaminadas a la reducción de la Huella de Carbono en el sistema productivo, haciendo énfasis en las áreas de oportunidad que permitirán lograr alimentos con Huella de Carbono baja o neutra.

# Introducción

La Huella de Carbono es una herramienta internacional que mide el total de gases de efecto invernadero (GEI) generados dentro de un proceso de producción, y que se traslada y expresa en términos de CO<sub>2</sub> equivalente (Tabla 1). Así, la huella de carbono permite identificar áreas de mejora para la eficiencia energética de los procesos productivos agroalimentarios, de esta manera proporciona la oportunidad de identificar y reducir estas emisiones, y a su vez reduce también el impacto al clima por la producción de alimentos (ONU, 2007).

Tabla 1. Principales gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera en el año 2015. Adaptado de García de Alba, 2019.

Gases de efecto invernadero (GEI)	Fuentes de emisiones	Concentración actual en la atmósfera (ppb)	Estructura química	Tiempo de residencia en la atmósfera (años)
CO <sub>2</sub> dióxido de carbono	Uso de combustibles fósiles y leña, deforestación, generación de alimentos	400,000	$O=C=O$	100-200
CH <sub>4</sub> Metano	Cultivos, ganado, tiraderos de basura, uso de combustibles fósiles	800	$\begin{array}{c} H \\   \\ H-C-H \\   \\ H \end{array}$	10
NO <sub>x</sub> Óxidos nitrosos	Fertilizantes químicos, deforestación, uso de leña	310	$\begin{array}{c} O \\    \\ ^-O-N^+-OH \end{array}$	150-180
CFCs Clorofluorocarbonos	Aerosoles, refrigerantes, aislantes	3	$\begin{array}{c} H \\   \\ H-C-Br \\   \\ H \end{array}$	65-130

SFx Hexafluoruro de azufre	Aislante eléctrico y estabilizante, transformadores, extintores de incendios	3		3,200
HFCs Hidrofluoro- carbonos	Refrigeración industria petroquímica, aire acondicionado, disolventes industriales, minería aerosoles	2		270

Cuando se conoce la Huella de Carbono del proceso de producción de un bien, servicio o producto (riego, fertilizantes, empaques, consumo energético, manejo, etc.) se puede tomar como parte de la información del mismo dándole un valor agregado ya que por ejemplo puede acceder a los mercados sustentables o verdes (Olmos, 2012 y García de Alba, 2019). En el sector agrícola el etiquetado o distinción de la huella de carbono para este tipo de mercado, es considerado como un certificado que aporta información seria acerca de cómo los productores están interesados en reducir las emisiones de gases invernadero en todo el proceso de producción agropecuario que va desde la preparación del terreno hasta la comercialización (Palacios, 2012).

Existe una enorme preocupación, con respecto a los alcances que tendrá el cambio climático a nivel mundial y de cómo reaccionarán los ecosistemas, pudiendo conllevar desequilibrios a niveles macro y micro económicos. Este punto es de vital importancia para aquellos países que dependen fuertemente de los recursos naturales, como lo es México y nuestro estado, Jalisco.

Esta incertidumbre y la creciente preocupación internacional por las consecuencias del cambio climático, ha llevado a una respuesta mundial a nivel gubernamental, manifestada como numerosos estudios, conferencias y acuerdos, incluyendo tratados cuyo fin es enfrentar, y resolver el tema en la medida de lo posible. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) ha sido el ente coordinador a nivel mundial de todas estas acciones. Como

consecuencia de esta reacción, el debate se ha llevado también a nivel de comercio exterior y, dentro de ello, ha expuesto la necesidad de internalización de los costos climáticos del Carbono emitido en la cadena productiva de bienes y servicios (comercializables), lo que haría más sencilla la tarea de ajustar los costos de la mitigación de las emisiones de GEI y las medidas que los responsables deberán aplicar.

Por lo tanto, la estimación de la Huella de Carbono de cualquier producto incluyendo los agropecuarios implica medir las fuentes más importantes o sumideros de las emisiones de GEI del sistema productivo específico. Es por ello que, para este estudio pionero en México, se debe contemplar la obtención de datos de primera mano de los principales elementos que conforma el sistema de producción agrícola del aguacate destacando: fotosíntesis del aguacate, el uso de fertilizantes, transporte, el consumo de combustibles fósiles, embalaje, refrigeración, consumo de energía eléctrica y la fuente que lo provee, entre otros (Hernán & Campo, 2004).

En los próximos años, la capacidad para determinar la huella de carbono o distintivos de un producto, serán esenciales para asegurar la sustentabilidad comercial de éste. Por este hecho, es importante comenzar a realizar el cálculo de Huella de Carbono.

Conocer la Huella de Carbono de un producto permite obtener los siguientes beneficios (Olmos, 2012):

- ✓ Formar comunidades de producción sustentable de alimentos como se realizó en otros países. Por ejemplo, En Curitiba Brasil la producción de hortalizas mediante sistemas de producción agroecológicos, o el comercio sustentable y saludable en Copenhague, Dinamarca.
- ✓ Conferir valor agregado al producto permitiéndole incursionar en mercados verdes o sustentables internacionales. Por ejemplo, algunas empresas europeas de distribución (Tesco, Walmart, Casino etc.) han comenzado a solicitar como requisito la medición de la Huella de Carbono de los insumos a sus proveedores.

- ✓ Es una herramienta de comunicación y gestión de la sustentabilidad ambiental. Algunas grandes empresas agroalimentarias utilizan la Huella de Carbono como un indicador complementando sus políticas de sustentabilidad.
- ✓ Economizar al reducir los costos de operación. Por ejemplo, la evaluación de la huella de carbono en un producto permite saber si el producto está producido de forma apropiada y permite detectar áreas de oportunidad para el uso eficiente de la energía y la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero, y así lograr la eficiencia en la forma de producción.
- ✓ Reduce el consumo energético; optimización de transporte, disminución en consumo de insumos y recursos, mejora la competitividad de la empresa, y disminuye el impacto ambiental y sus emisiones GEI.
- ✓ Es una herramienta que favorece la innovación territorial sobre el sistema de producción de alimentos de forma más amigable con ambiente.

Por otro lado, la medición de la Huella de Carbono permite al productor de alimentos en este caso, establecer acciones específicas de “mitigación”, estas acciones son en la fijación de carbono de la atmósfera. Algunas de estas acciones se enumeran en la Figura 1.



Planificación y uso eficiente de fertilizantes.



Planificación y uso eficiente del sistema de riego.

Figura 1. Acciones de mitigación y reducción de GEI específicas para sistemas de producción agrícola. Adaptado de Umaña, 2012



Implementación de energías renovables en la unidad de producción.



Reforestación planificada para tener una zona de amortiguamiento que permita la fijación de carbono y reduzca la Huella de Carbono.



Reciclaje de residuos producidos en el sistema de producción para disminución de GEI



Optimización del material de embalaje para disminuir su impacto ambiental del producto, lo cual permite reducir y neutralizar la Huella de Carbono en el sistema de producción.

México es un gran productor de alimentos y un sector importante para la exportación es la producción de aguacate del cual produce más del 40% de aguacate en el mundo (Figura 2), siendo el productor más grande y reconocido a nivel internacional.

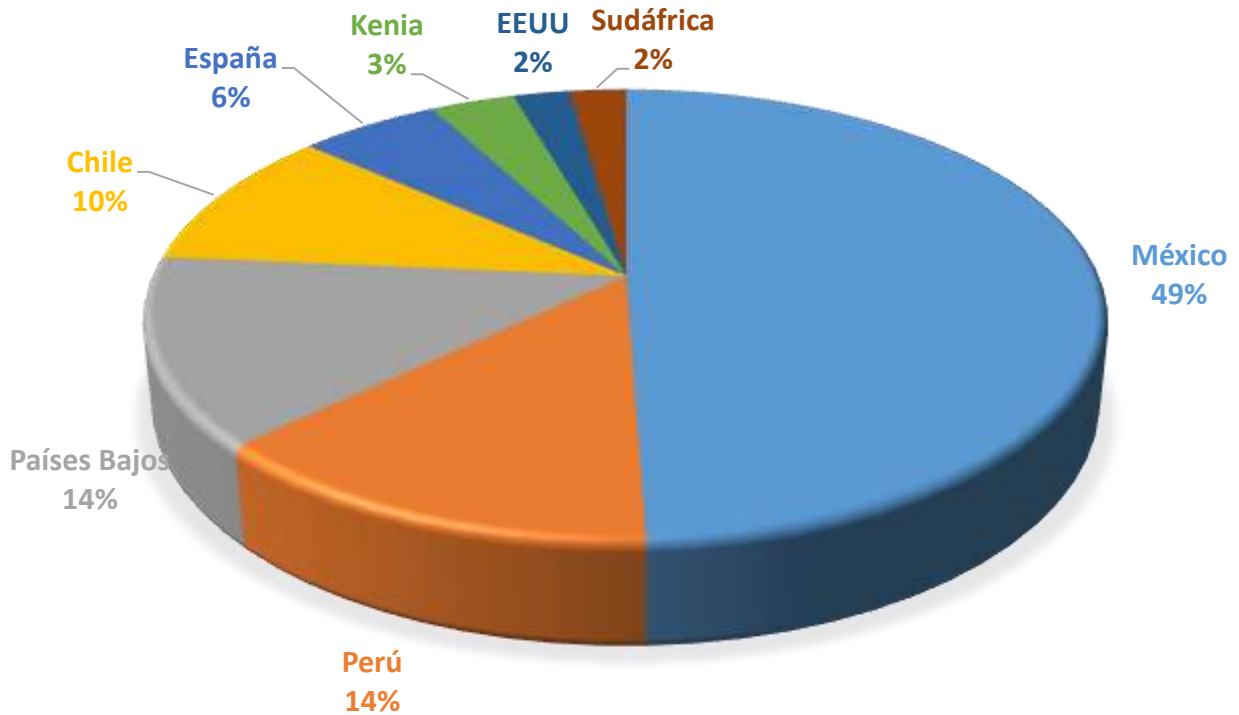


Figura 2. Principales productores de aguacate a nivel mundial. Elaboración propia con datos de APEAM, 2018.

Nuestro país cuenta con una superficie sembrada de 187,327.08 hectáreas generando ingresos aproximados por \$22 mil millones de pesos anuales, exportando un total de 365,639 toneladas de aguacate anualmente. El estado de Jalisco cuenta con una superficie sembrada de 17,040.85 hectáreas generando ingresos aproximados por \$2 mil millones de pesos anuales, siendo el segundo lugar a nivel nacional. Lo anterior significa que este sistema producto cuenta con recursos necesarios para implementar mejoras a su proceso (energías alternativas, riego eficiente, vehículos híbridos entre otros). Cabe señalar que este sistema productivo es uno de los más rentables, con mayor crecimiento y generadores de fuentes de empleos en Jalisco. Debido a este importante y continuo desarrollo económico del sistema productivo del aguacate variedad Hass, lo hace el sistema agroalimentario idóneo para continuar su innovación y posicionamiento ahora en el ramo ambiental y ser el primer sistema producto agrícola en contar con un estudio



de Huella de Carbono en México (García de Alba, 2018) lo que incidirá también en el reconocimiento internacional sobre la forma de producción de alimentos (aguacate) cumpliendo con los compromisos ambientales internacionales que México firmó y ratificó en la Cumbre del Clima 2015 en París promovida por las Naciones Unidas (COP 21, 2015).

Asimismo, la Huella de Carbono en el aguacate impactará en la generación y promoción de estrategias sustentables para que más tarde sean incorporadas por los productores con el fin de reducir la Huella de Carbono en el proceso de producción de aguacate Hass en Jalisco y posicionarse como un ejemplo internacional.

Dicho lo anterior, el sistema de producción del aguacate tiene un gran potencial para ser punta de lanza y difundirse como un ejemplo replicable en economía agropecuaria nacional verde o sustentable; debido a su importancia en términos alimentarios, económicos, fuente de empleos, y como producto de exportación y posicionamiento de la calidad-cuidado ambiental de los productos agroalimentarios de México.

# Antecedentes

Las investigaciones sobre la importancia de la medición de la Huella de Carbono y la implementación de acciones para su mitigación en diversos sistemas de producción de productos alimenticios de importancia internacional (Olmos, 2012). De los primeros registros teóricos relacionados con el concepto de “Huella”, surge la denominada “Huella Ecológica”, desarrollada como una herramienta estimativa, para conocer el uso de los materiales y la capacidad de asimilación de residuos y contaminantes de un sistema, para el funcionamiento óptimo de una comunidad, incluyendo el grado en el que las personas dependen de los servicios que brinda la naturaleza.

En la Huella Ecológica, la Huella de Carbono representa casi el 50% del impacto directo al cambio climático. De aquí la relevancia de disminuir y mitigar las emisiones de los GEI. (Schneider & Samaniego, 2010).

El término “Huella de Carbono” se incorporó a los ámbitos académico y social durante el año 2001 tomando popularidad en años recientes; su uso se ha generalizado a través de los medios de comunicación y en la comunidad científica enfocada en la problemática ambiental. Aunado a esto, han surgido una variedad de definiciones que pueden ir desde una interpretación sencilla que contempla solamente las emisiones directas de CO<sub>2</sub>, hasta otras más complejas, que se asocian al ciclo de vida de las emisiones de gases de efecto invernadero, incluyendo la extracción de las materias primas y el destino final del producto así como sus empaques (Wiedman & Minx, 2008).

La definición general de Huella de Carbono menciona que “es la medida de la cantidad de emisiones totales de gases de efecto invernadero, producidas directa o indirectamente por un individuo, organización, producto, evento o estado”. También puede entenderse como la suma de todas las emisiones de gases de efecto

invernadero de un producto, servicio, empresa son responsables a lo largo de su cadena de valor permitiendo encontrar eficiencias internas y externas que permitan disminuir emisiones y mejorar procesos ”(Álvarez Gallego S. , 2015)”.

Así, podemos decir que la Huella de Carbono representa la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera derivados de las actividades de producción o consumo de bienes o servicios.

En los últimos años se han desarrollado distintas tecnologías para la cuantificación y metodologías para determinar el nivel de emisiones de GEI de individuos, organizaciones y productos, y la Huella de Carbono es una de ellas. Esta, se ha convertido en un lema en el debate público sobre el cambio climático, atrayendo la atención de los consumidores, negocios, gobiernos, ONGs y organizaciones internacionales por igual (Espíndola & Valderrama, 2012), incidiendo en la toma de acciones para cambiar los patrones de competencia de las empresas, sistemas de producción y alimentos. A pesar de la diversidad de definiciones de Huella de Carbono, la literatura reconoce la ausencia hasta hoy en día de una clara definición que sea comúnmente aceptada. La utilidad de la Huella de Carbono en el debate sobre el cambio climático, ha traspasado fronteras comerciales, principalmente en los países que participaron en el Protocolo de Kioto. Fundamentalmente motivado por la importancia de la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero de estos países, por las posibles pérdidas de competitividad de sus productores, quienes estarían compitiendo con otros exportadores con costos de emisión menores que aquellos que no han asumido compromisos climáticos.

En la 1ª Reunión de la Conferencia de las Partes, realizada en Berlín en 1995, se acordó que los compromisos adquiridos en la Convención no eran suficientes hasta esa fecha, ya que muchos países desarrollados no podrían cumplir las metas de mitigación de GEI adquiridas para el año 2000. Se hacía necesario, entonces, la generación de otro documento legal que posibilitara el cumplimiento de los compromisos.

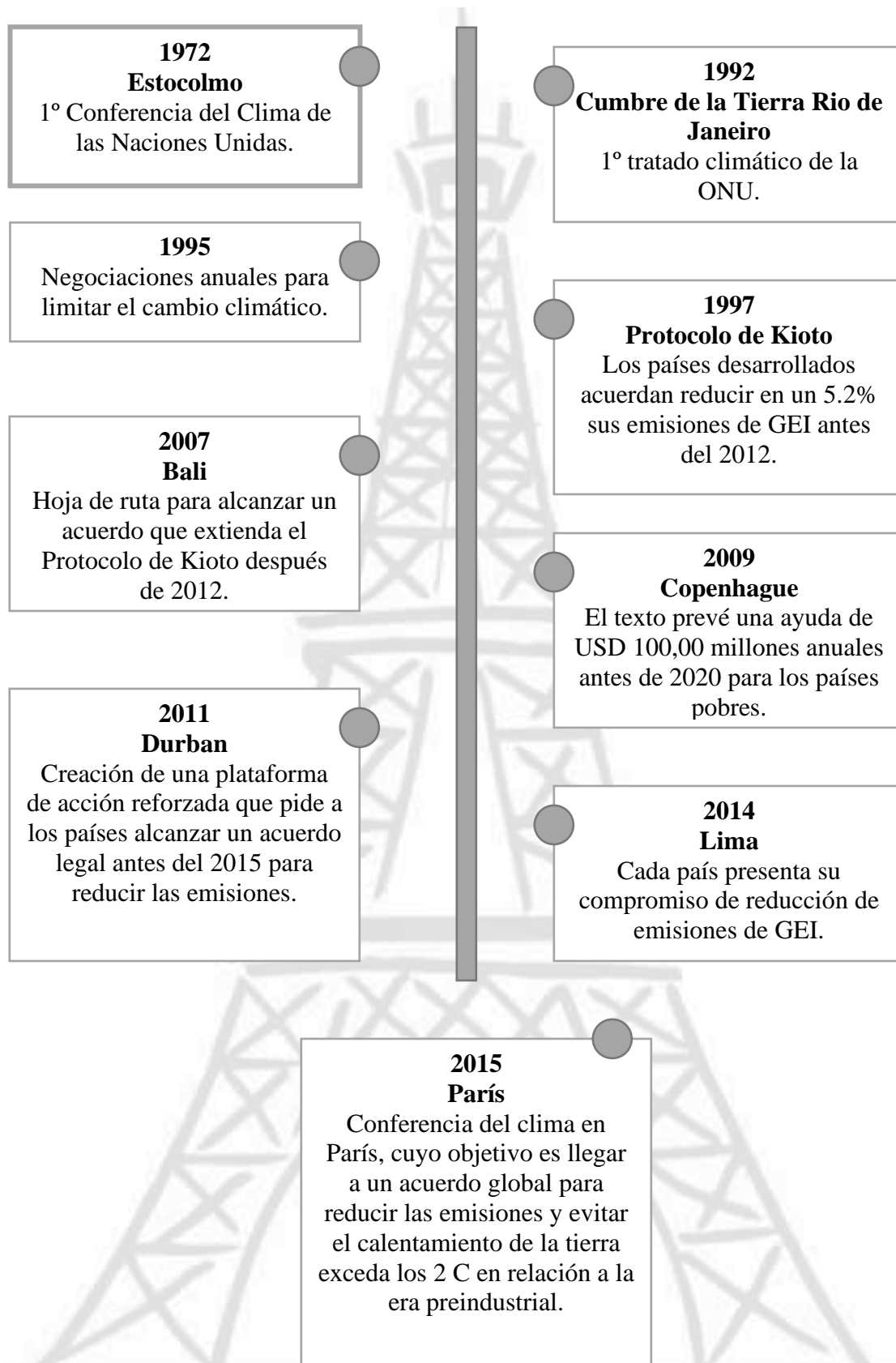


Figura 3. Acuerdo de París. Modificado de ONU, 2015.

En la 3ª Conferencia de las Partes de Kioto en 1997, se adoptó el Protocolo de Kioto, con la finalidad de establecer objetivos más estrictos para la mitigación de emisiones de GEI para los países desarrollados. Se estableciendo un calendario específico para cumplir dichos acuerdos. El acuerdo principal fue alcanzar la mitigación grupal de las emisiones de GEI, en mínimo, 5% bajo los niveles existentes al año 1990, para el primer período de compromisos comprendido entre los años 2008 al 2012. Asimismo, se crearon mecanismos de apoyo económico llamados “de flexibilización”, con el fin de ayudar a estos países a alcanzar las metas según el calendario de reducción mencionado.

La República de Chile ratificó la Convención sobre Cambio Climático el 22 de diciembre de 1994. La Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y el Ministerio de Relaciones Exteriores se encargaron de su gestión a nivel nacional e internacional. La primera se encargó del desarrollo y la implementación de estudios, programas y estrategias en el país a través del Departamento de Descontaminación, Planes y Normas, asesorada en su labor por el Comité Nacional Asesor sobre Cambio Global y otras instancias.

Por otro lado, el acuerdo de París (Figura 3) sobre el Cambio Climático fue adoptado contra todo pronóstico el 15 de diciembre de 2015 en la 21ª Conferencia de las Partes de la Convención Marco sobre el Cambio Climático, gracias a la acción colectiva de todos los países del planeta y a la movilización del sistema institucional vinculado a esta convención. Las negociaciones de las que resultó el Acuerdo de París son también deudoras del compromiso de la Unión Europea (UE), que desplegó con éxito una de las marchas diplomáticas más importantes de su historia. Su entrada en vigor tuvo lugar el día 4 de noviembre de 2016, en un periodo récord, tras ser abierto a la firma el 22 de abril de 2016. Las negociaciones que desembocaron en su adopción debatieron hasta el último momento cuál sería la forma jurídica que debía adoptar el instrumento internacional que diera continuidad a los compromisos de la Convención Marco y sustituyera al Protocolo de Kioto. La

estrategia finalmente elegida, para sorpresa de todos los que siguieron las negociaciones en los últimos años, fue la de un tratado internacional que, sin embargo, se caracteriza por tener grandes zonas de penumbra en las que es difícil distinguir el carácter normativo de sus disposiciones (Figura 4).

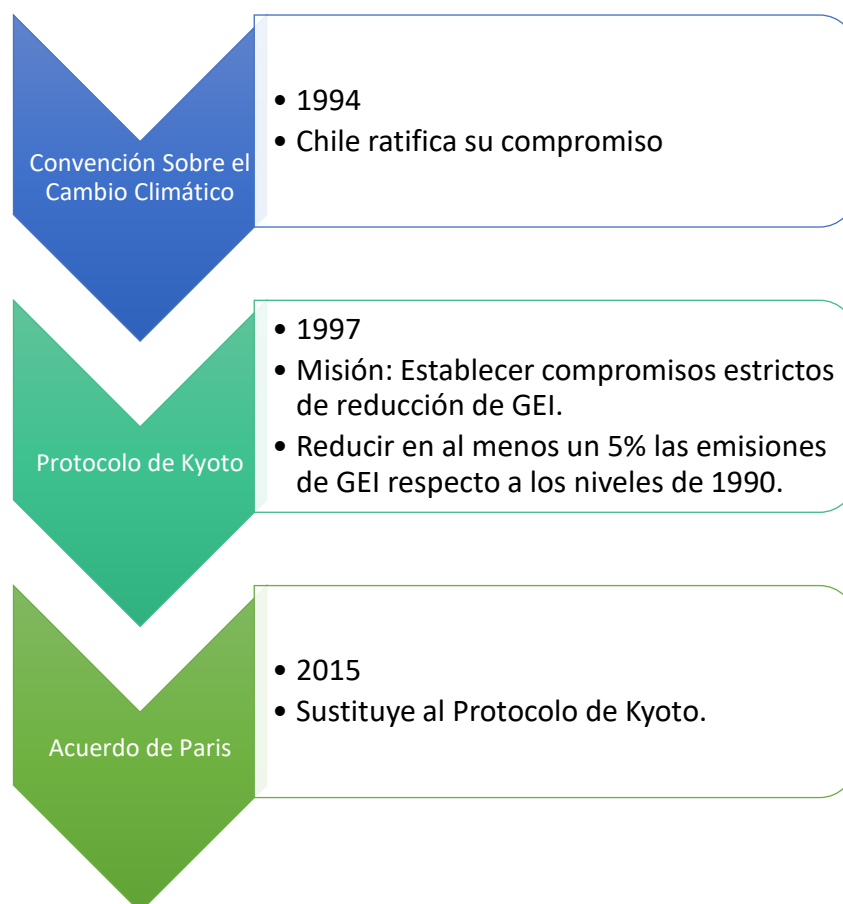


Figura 4. Esfuerzos internacionales para la reducción de los GEI a través de la historia.

Dentro del contexto social la globalización quizás sea uno de los fenómenos con mayor auge del siglo XXI. El término globalización pretende dar nombre a multitud de procesos económicos, tecnológicos, sociales y culturales a gran escala. Su determinación no es sencilla, y pretender que lo es supone una implicación que acarrea impresiones y sesgos detrás de los que, en muchas ocasiones, hay intereses concretos. La globalización, entendida como proceso, no surge en el siglo

XXI, si no que se expandió en la segunda mitad del siglo XX, recibiendo su mayor impulso con la caída del consumismo y el fin de la Guerra Fría.

La globalización ha sido intencionadamente identificada como un proceso propio de las sociedades capitalistas democráticas o de las democracias liberales, que han abierto sus puertas a la revolución tecnológica. Se plantea que en dicho proceso ha habido un aumento del nivel de liberación y democracia de la cultura política del país, una modernización d su ordenamiento jurídico y económico, así como una actualización de sus relaciones internacionales (Álvarez Gallego S. y., 2015).

La globalización provoca, pues, una serie de consecuencias controvertidas, por ejemplo, aumento del uso de combustibles fósiles para el suministro de energía a los medios de transporte de mercancías; en este sentido resulta destacable el caso del transporte marítimo en países europeos, cuya cifra anual alcanza 3,500 millones de toneladas de mercancías.

La inadecuada gestión global de los recursos naturales ha conducido a un preocupante panorama. Se hace un estimado de que en el mundo el 52% de las tierras destinadas al sector agropecuario muestran una fuerte degradación (ONU, 2009). Recientes estudios publicados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) mencionan una tasa media de deforestación de en 14.5 millones de hectáreas al año en el mundo en el periodo comprendido entre 1990 y 2005 (FAO, 2018).

Los recursos naturales son los materiales brindados por la naturaleza que pueden ser usados por las personas para satisfacer sus necesidades. Según este planteamiento, los tipos de recursos naturales cambian en función de las necesidades del ser humano y de los elementos que la naturaleza proporciona; además, también permite asumir que, en la clasificación de los tipos de recursos naturales de Miller (1994), los recursos potencialmente renovables utilizados por un

tiempo prolongado pueden convertirse en no renovables si se utilizan con mayor velocidad a la que toma renovarlos (Álvarez Gallego S. y., 2015).

Dado situación actual social y medioambiental, nuestra sociedad está cada vez más interesada en los retos a los que se va a tener que enfrentar en un futuro muy próximo. El Programa 21 y los Objetivos de Desarrollo Sustentable (Figura 5) son algunos de los compromisos adoptados por los países miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para enfrentar esta situación.



Figura 5. Los Objetivos de Desarrollo Sustentable plasmados en la Agenda 2030, establecen estrategias para lograr un desarrollo "sin dejar a nadie atrás". Tomado de ONU, 2015.

Los objetivos, escritos en los acuerdos, están orientados a eliminar algunas de las consecuencias de un modelo de gestión económica que se ha centrado en obtener beneficios para unos cuantos dejando por un lado las necesidades de la humanidad como un conjunto. En este sentido, los recursos naturales se han utilizado como moneda de cambio internacional, contribuyendo en su movimiento continuo a



desequilibrar aún más el estado socioeconómico de algunos países. Es por ello, que la gestión apropiada de los recursos naturales juega un papel destacado en ambos programas, planteando objetivos y metas claras y puntuales en el ámbito de su gestión.

El uso inadecuado de los recursos naturales a nivel global ha conducido a un alarmante panorama actual. Por otro lado, en 2014 la ONU mencionó que cerca de 1,200 millones de personas (casi una quinta parte de la población mundial) viven en regiones de escasez hídrica, mientras que otros 500 millones se aproximan a esta situación. También según la FAO, aproximadamente 870 millones de personas en el mundo sufren hambre (FAO, FIDA y PMA, 2013). Este evidente desequilibrio en el uso mundial de los recursos también trae consigo graves repercusiones ambientales. Según el documento “Perspectivas del Medio Ambiente Global GEO4” la tasa de extinción de especies actual resulta es cien veces superior a la tasa natural, y se prevé que en las próximas décadas se incremente hasta un valor que supere entre 1,000 y 10,000 veces la tasa natural. La globalización tiene una responsabilidad muy importante en esta grave situación.

Multitud de informes y expertos señalan de manera incontestable que los recursos naturales son finitos y no pueden ser aprovechados de forma irracional. Entre las iniciativas que pretenden hacer frente a esta situación destaca la elaboración en 1983 de la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, con el fin de establecer acciones medioambientales a largo plazo para conseguir un desarrollo económico para el año 2000. Teniendo como resultado la publicación en 1987 del Informe Brundtland. Este texto menciona por vez primera el término “*Sustainable Development*” (“desarrollo sustentable”) que tanta repercusión tiene en la actualidad (Rodríguez Olalla, 2015).

El desarrollo sustentable consta de tres vertientes, la economía, la social y la medioambiental, que deben abordarse de forma equilibrada. Estas tres dimensiones

están interrelacionadas y el abandono de una de ellas supondría el fracaso del objetivo final (Figura 6).



*Figura 6. Vertientes del desarrollo sustentable. Elaboración propia.*

Según la Comisión Europea (2001 y 2006), el desarrollo sustentable responde a las necesidades del presente sin poner en riesgo la capacidad de las generaciones futuras de responder a las suyas. Otra interesante definición que se propuso, en la cual se establece que en una sociedad sustentable no debe haber un decremento no razonable de cualquier recurso ni un daño significativo a los sistemas naturales, y tampoco un declive significativo de la estabilidad social. Herman Daly, economista-ecólogo estadounidense, propone que una sociedad sustentable es aquella en la que los recursos se utilizan a un ritmo inferior al de su regeneración; por lo tanto, no se emiten contaminantes a un ritmo superior al que el sistema natural es capaz de

absorber o neutralizar. Además, menciona que los recursos no renovables deben utilizarse a un ritmo más bajo que el que el capital humano creado pueda remplazar al capital natural perdido.

En 1992, la comunidad internacional se reunió en la “Cumbre de la Tierra” de Río de Janeiro (Brasil) para discutir los medios con los que poner en práctica el desarrollo sustentable. Durante esta reunión, los líderes mundiales tomaron el Programa 21, con estrategias específicas para conseguir el desarrollo sustentable a nivel nacional, regional e internacional. Esto fue seguido en 2002 por la “Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sustentable”, donde se aprobó el Plan de Aplicación de Johannesburgo.

La composición de la atmósfera es el resultado de un equilibrio entre procesos biológicos como la fotosíntesis y la respiración, y procesos fisicoquímicos como la absorción del CO<sub>2</sub> en aguas frías oceánicas, subsaturadas de CO<sub>2</sub> y su liberación por aguas calientes, sobresaturadas de CO<sub>2</sub>. El equilibrio natural de estos procesos está siendo actualmente modificados a escala global por las actividades del hombre (uso de combustibles fósiles, modificaciones en el uso de suelo, etc.) El incremento en la concentración de GEI en la atmósfera genera un acrecentamiento del efecto invernadero que modifica los distintos climas del planeta. Este fenómeno denominado cambio climático, pero que no se trata de un cambio climático natural (geológico), sino de un cambio climático ligado a la actividad del hombre. De hecho, esta matización que determina claramente el origen antropógeno está presente en la propia definición de cambio climático proporcionada por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés) en 1992.

Las evidencias científicas presentes en el quinto informe del IPCC señalan que el incremento de la temperatura promedio mundial de los últimos 200 años es consecuencia del incremento en la atmósfera GEI generados por las actividades humanas, especialmente intensificadas por el consumo masivo de combustibles

fósiles desde la revolución industrial. De acuerdo con el mencionado informe, en el periodo 1901-2012 la temperatura media global de la atmósfera muestra un incremento de 0.89°C (desviación estándar de 0.20°C). El aumento de temperatura está presente tanto en superficie firme como en los océanos, donde también se ha observado que la capa superior del océano (0-700 m) se ha calentado en el periodo 1971-2010. Las previsiones del IPCC pronostican que la concentración de CO<sub>2</sub>eq (equivalentes de dióxido de carbono o CO<sub>2</sub> equivalentes) superará las 450 ppm en el año 2030 y alcanzará niveles entre 750 y más de 1300 ppm de CO<sub>2</sub> en el año 2100 (IPCC, 2014), motivo por el que la temperatura media de la Tierra ascenderá. Los esfuerzos colectivos llevados a cabo hasta la fecha han sido insuficientes para mantener los GEI en un nivel seguro (IPCC, 2014).

Cada GEI tiene un efecto distinto en el calentamiento del planeta. Los cuales, debido a su composición química, pueden perdurar en la atmósfera durante miles de años, como por ejemplo el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) con un tiempo de vida medio de 3,200 años. Asimismo, los hay que debido a sus propiedades tienen una mayor eficacia en la absorción y reemisión de radiación infrarroja. Este tipo de características propician lo que se denomina potencial de calentamiento global, que varía en función del horizonte temporal considerado. Su uso permite identificar cada GEI de acuerdo a una unidad de referencia definida como CO<sub>2</sub> equivalente.

La actividad del hombre ha generado un desequilibrio en la atmósfera por el aumento en las concentraciones de GEI. La principal causa de este incremento es la demanda de energía, y con ello la quema de combustibles fósiles. Otras grandes fuentes de emisión son las asociadas al uso del suelo, cambio de uso del suelo y selvicultura. Conocer los porcentajes de emisiones de cada sector de actividad es clave para la elaboración de estrategias efectivas de mitigación de GEI.

Los inventarios de GEI basados en el territorio son elaborados en el marco de los acuerdos alcanzados por la UNFCCC. La UNFCCC se basa a su vez en las directrices para la elaboración de inventarios nacionales emanadas del IPCC

publicadas en 1996 y revisadas en 2006 (IPCC, 1996, 2006). De acuerdo con estas directrices, los inventarios nacionales incluyen las emisiones y absorciones de GEI que se producen dentro del territorio nacional. Por lo tanto, las emisiones asociadas al consumo final de bienes y servicios no son contabilizadas, dado que son asignadas a los países donde se realiza la manufactura. De igual manera, las emisiones de GEI emitidas por la aviación y el transporte internacional no se asignan a los distintos países.

Los inventarios de GEI basados en el criterio del productor asignan las emisiones de GEI de una manera consistente con límites de las actividades económicas –es decir, utilizando el Sistema de Cuentas Nacional-. Estos inventarios incluyen la aviación y el transporte marítimo internacional, y suelen asignarse a los países en función del operador. Actualmente, estos inventarios son elaborados oficialmente por agencias internacionales, como Eurostat en la UE, a través de las denominadas Matrices de Contabilidad Nacional (Fong, 2014).

El criterio basado en el consumidor consiste en asignar las emisiones en función del lugar donde se realiza el consumo final de los bienes y servicios. Conceptualmente, el inventario de GEI basado en el productor menos las emisiones de GEI asociadas a las exportaciones, más las emisiones de GEI asociadas a las importaciones. El estudio concreto de las emisiones desde el punto de vista del consumidor de Reino Unido pone de relieve la trascendencia de este tipo de inventarios.

Sin embargo, pese a las evidencias sobre la importancia de elaborar inventarios basados en el consumidor, hasta la fecha son pocos los gobiernos que han emitido informes de este tipo de manera oficial. Esta circunstancia es grave, ya que afecta directamente en la búsqueda de acuerdos internacionales que pongan freno al crecimiento experimentado.

Diferentes estudios optan porque la Huella de Carbono incluya varios gases de efecto invernadero, expresando el indicador en toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>.

Otros prefieren limitarse exclusivamente a un único gas, el CO<sub>2</sub>. En cuanto a la relación con el análisis de Huella Ecológica, no existe excesiva controversia a la hora de definir la realidad a la que se aplica el indicador, asumiéndose que, al igual que la Huella Ecológica, puede ser aplicada tanto a poblaciones, sistemas productivos, organizaciones, productos o cualquier actividad que genere emisiones de los gases objeto de estudio. Sin embargo, los vínculos con la Huella Ecológica son más débiles en lo que se refiere a la hora de decidir las unidades en las que se expresa. La consideración de unidades de superficie implica la asunción de diferentes hipótesis relacionadas con la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> de cada tipo de superficie, introduciendo errores innecesarios (Rodríguez Olalla, 2015).

En varios estudios se ha demostrado que, a nivel empresarial, tanto la Huella Ecológica como la Huella de Carbono permiten la elaboración de un inventario de recursos consumidos y residuos generados, los cuales son útiles para una mejor gestión ambiental y esto es de gran importancia ya que las medidas de mitigación que sean tomadas en cuenta para la reducción de gases de (GEI) pueden ser tomadas por otras empresas para la reducción de estos en la atmósfera. Desde una perspectiva de producto, se ofreció información útil para involucrar a toda la cadena de suministros en la reducción del impacto ambiental de bienes y servicios.

Durante la Conferencia de Estocolmo fue elaborado y presentado el informe *Los límites del crecimiento*, el cual desató numerosos debates en todo el mundo con respecto al futuro del planeta. De acuerdo con las predicciones expresadas en el informe, de no conseguir la detención voluntaria del crecimiento económico y demográfico, la escasez de recursos y el deterioro ambiental provocarían el colapso del planeta.

El término “desarrollo sustentable” ha sido ampliamente utilizado, marcando el desarrollo de nuevas corrientes tanto sociales como académicas y culturales. Sin embargo, todavía son varias las imprecisiones existentes alrededor del término, y siguen surgiendo nuevas concepciones que pueden complementar al término de

sustentabilidad como lo es el término “economía verde” que se caracteriza por buscar la generación de una mayor prosperidad, al mismo tiempo que se respetan los límites locales, regionales y globales de los sistemas ambientales.

Así mismo a partir la Revolución Industrial, la economía mundial ha desarrollado un patrón de crecimiento basado en la secuencia “tomar-fabricar-consumir-eliminar”, un modelo lineal que considera la hipótesis de la abundancia, disponibilidad, facilidad de obtención y eliminación barata de los recursos. No obstante, habitamos en un planeta en el que los recursos son limitados y el esperable aumento de la demanda sobre los mismos acentúa la degradación y la fragilidad del medio ambiente.

De aquí la importancia de la economía circular en la reducción de los recursos que escapan del ciclo de vida de los productos al mínimo para que el sistema funcione de modo óptimo. De tal forma que, cuando un producto ha alcanzado el final de su vida, los recursos se retienen dentro de la economía, para ser reintegrados a los procesos productivos y, por lo tanto, crear más valor.

La transición a una economía circular implica la inclusión de acciones en la cadena de valor, desde la elaboración de los productos hasta los nuevos modelos de gestión y de mercado, desde los nuevos modos de transformación y valorización de los residuos a un activo hasta las nuevas formas de comportamiento de los consumidores. Todo implica un cambio completo, así como innovación no solo en las tecnologías, sino, también en la organización, la sociedad, los métodos de financiación y las políticas. Incluso en una economía circular quedará siempre algún componente de linealidad, pues hacen falta herramientas y tecnologías nuevas que permitan cerrar el ciclo.

Una de las estrategias prioritarias de la economía circular es mantener o brindar valor añadido de los productos el mayor tiempo posible, reduciendo o disminuyendo los posibles residuos.

Sin embargo, cualquier consumo de bienes y servicios implica en la línea de tiempo extracción y producción una Huella de Carbono, todas las actividades que desarrollamos generan emisiones de gases invernadero. Estas emisiones pueden ser directas (por ejemplo, la quema de combustible fósil en un vehículo) o indirectas (por ejemplo, las emisiones asociadas a la fabricación del vehículo). De igual manera, puede haber productos o servicios que generan remociones de GEI (por ejemplo, una mesa de madera que perdure en el tiempo). En este caso, su consumo puede generar una contra Huella de Carbono.

Una gran cantidad de las emisiones producidas responden a los hábitos de consumo presentes en nuestra actividad cotidiana. El 80% de las emisiones asociadas al consumo de los hogares corresponden a la alimentación, la movilidad y la vivienda. Concretamente, el 30% de los impactos se derivan de la vivienda (principalmente calefacción), el 30% del transporte (principalmente el uso del automóvil y la aviación) y el 25% derivan de la alimentación.

La Huella de Carbono con enfoque en el producto deriva del desarrollo científico y normativo del análisis del ciclo de vida (ACV). Los primeros estudios basados en el ACV tienen sus inicios en la segunda mitad del siglo XX, siendo uno de los más citados el estudio desarrollado por el Instituto de Investigación del Medio Oeste de los Estados Unidos (en inglés, Midwest Research Institute) para la empresa Coca-Cola en 1969. Sin embargo, no será hasta 1989 cuando la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (Society of Environment Toxicology and Chemistry) pone el nombre de ACV a la metodología. En 1993 definen el ACV como un procedimiento objetivo de evaluación de cargas tanto energéticas como ambientales correspondientes a un proceso o una actividad, que se efectúa identificando los materiales y la energía utilizados, y los vertidos al entorno. La evaluación se realiza conforme al análisis del ciclo de la vida completo del proceso, actividad, incluyendo la extracción de la materia prima y tratamiento de la materia prima, el proceso de fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y la



disposición final. Esta labor no es manera fácil y se realiza conforme se dispone de información.

Más adelante, la extensión en el uso del concepto logra el interés de la Organización Internacional de Normalización. En 1994, la Organización Internacional de Normalización inició los trabajos para publicar una norma que estableciese principios y referencias para la homogenización internacional de los estudios de impactos ambientales asociados a productos. Finalmente, en 1997 se publicó la Norma ISO 14044, seguida de las normas ISO14041, ISO 14042 e ISO 14043. Habría que esperar a 2006 para la publicación de la revisión de la ISO 14040: 2006 y de la ISO 14044:2006, en sustitución de la serie de normas ISO 14041-3 (Figura 7).

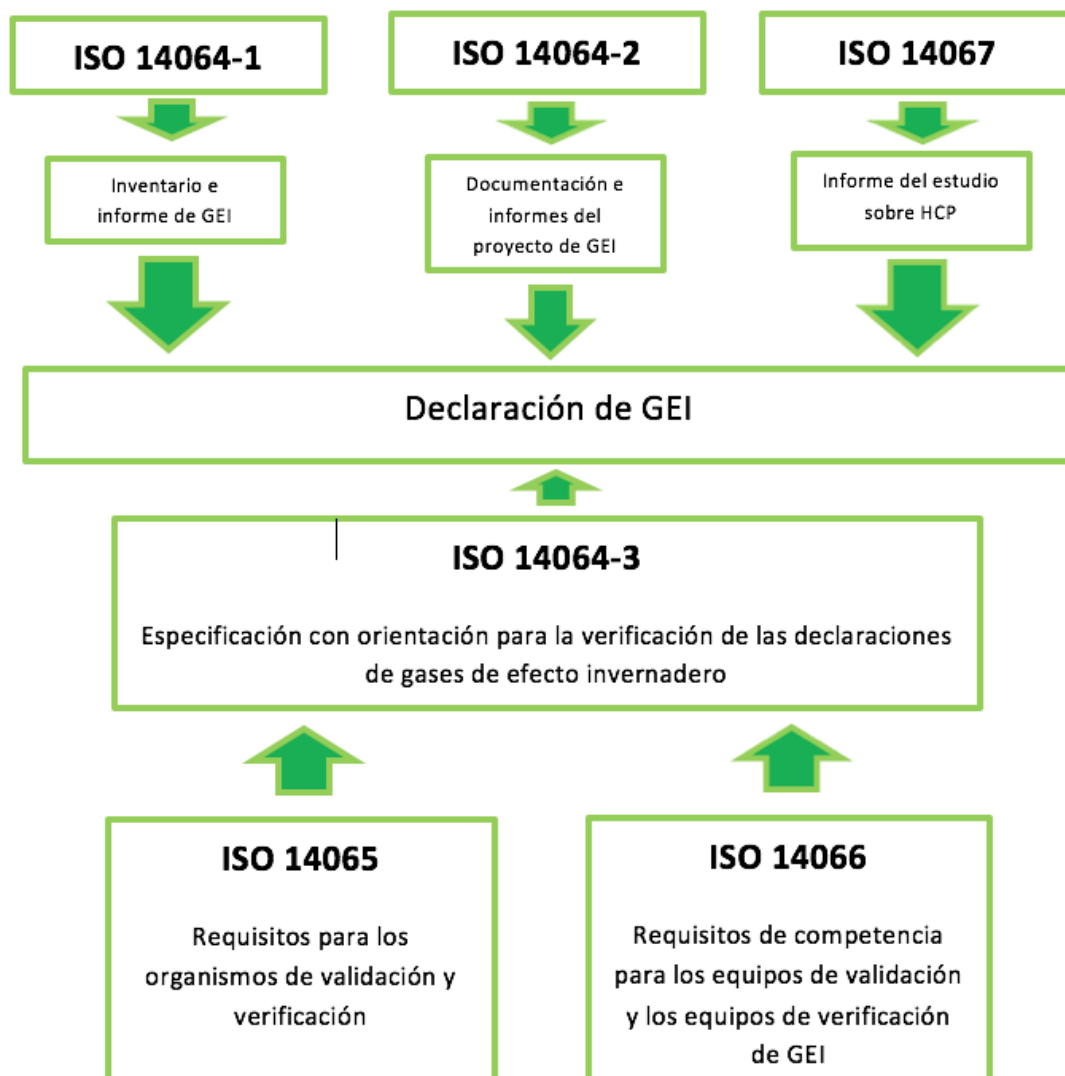


Figura 7. Diagrama de la relación entre las normas de la familia ISO 14060.

La HCP se concibe como una ACV en donde se analiza como única categoría de impacto ambiental la contribución al calentamiento global. El interés despertado por esta categoría de impactos ha generado que se haya elaborado normas específicas que tienen como referencia las normas anteriormente mencionadas.

Según la Norma UNE-CEN ISO/TS 14067:2015, la HCP se define como la “suma de emisión de gases de efecto invernadero y sumideros en un sistema producto,

expresada como CO<sub>2</sub>eq y con base en un análisis de ciclo de vida utilizando una sola categoría de impacto, la de cambio climático” (Álvarez Gallego, 2015).

La HCP se desarrolla principalmente desde la técnica de análisis de procesos cuyo objetivo es determinar los flujos elementales de los procesos relevantes en los que se puede dividir cada fase del ciclo de vida del sistema producto analizado. Existe toda una terminología derivada de las normas internacionales. Por ejemplo “sistema producto” se define según la especificación técnica UNE-CEN ISO/TS 1467 como el conjunto de procesos unitarios con flujos elementales y flujos de producto, que desempeña una o más funciones definidas y que sirve de modelo para el ciclo de vida de un producto. También de acuerdo con esta especificación, se considera producto a cualquier bien o servicio todos a los que se tiene acceso de forma directa o indirecta, así como eventos puntuales.

Uno de los aspectos más relevantes en la obtención de HCP es hacer que los estudios sean comparables entre sí. Gracias a los avances desarrollados en la normativa y textos derivados, los estudios de HCP pueden estar claramente caracterizados. Ante esta circunstancia, la variabilidad de factores a considerar (norma de referencia, exigencias específicas, fase de ciclo de vida, etc.) permite que existan condiciones para detallar el análisis con un grado de calidad suficiente como para alcanzar la comparabilidad entre dos productos en lo que a la HCP se refiere.

La familia ISO 14060 ofrece especificidad, claridad y coherencia en la cuantificación, así también el seguimiento, el informe y la validación o verificación de emisiones y remociones de GEI para apoyar el desarrollo sustentable mediante una economía baja en carbono y beneficiar a organizaciones, proponentes de proyectos y partes interesadas de todo el mundo. Específicamente, el uso de la familia ISO 14060, aumenta la integridad ambiental, aumenta la credibilidad, coherencia y transparencia de la cuantificación, el seguimiento, el informe, la verificación y la validación de los GEI. Estas características permiten el desarrollo y la implementación de estrategias y planes de gestión de los GEI, facilita el desarrollo

y la implementación de acciones de mitigación mediante reducciones de las emisiones o aumentos de las remociones, facilita la capacidad de seguir el desempeño y progreso de la reducción de emisiones de GEI y/o del aumento de las remociones de GEI.

Entre las aplicaciones de la familia ISO 14060 se consideran decisiones corporativas, incluyendo la identificación de oportunidades de reducir las emisiones y el aumento de la rentabilidad mediante la reducción del consumo de energía; gestión de riesgos y oportunidades, tales como los riesgos relacionados con el clima, incluyendo los financieros, reglamentarios, así como los relativos a la cadena de suministro, el producto y el cliente, los litigios, los riesgos asociados a la reputación y sus oportunidades de negocio (por ejemplo, nuevos mercados, nuevos modelos de negocio); iniciativas voluntarias, tales como la participación en los registros voluntarios de GEI o las iniciativas de informes de sostenibilidad; mercados de GEI, como la compra y venta de derechos o créditos de GEI; programas reglamentarios/gubernamentales de GEI, como el crédito para la acción temprana, acuerdos negociados o iniciativas de informes nacionales y locales.

La Norma ISO 14064-2 detalla los principios y requisitos para determinar las líneas base, y hacer seguimiento, cuantificar e informar emisiones del proyecto. Se centra en los proyectos de GEI o en actividades basadas en proyectos diseñados específicamente para reducir las emisiones de GEI o aumentar las remociones de GEI. Proporciona una base para los proyectos de GEI a verificar y validar.

La Norma ISO 14064-3 detalla los requisitos para la verificación de las declaraciones de GEI relacionadas con los inventarios de GEI, los proyectos de GEI, y las Huellas de Carbono de los productos. Describe el proceso para la verificación o validación, incluyendo la planificación de la verificación o validación, los procedimientos de evaluación, y la valoración de declaraciones de GEI de organizaciones, proyectos y productos.

La Norma ISO 14065 define los requisitos para organismos que validan y verifican declaraciones de GEI. Sus requisitos abarcan la imparcialidad, la competencia, la comunicación, los procesos de validación y verificación, las apelaciones, las quejas y el sistema de gestión de los organismos de validación y verificación. Se puede utilizar como base para la acreditación y otras formas de reconocimiento relacionadas con la imparcialidad, la competencia y la coherencia de los organismos de validación y verificación.

La Norma ISO 14066 especifica los requisitos de competencia para los equipos de validación y los equipos de verificación. Incluye principios y especifica requisitos de competencia basados en las tareas que los equipos de validación o los equipos de verificación tienen que ser capaces de realizar.

La Norma ISO 14067 define los principios, los requisitos y las directrices para la cuantificación de la Huella de Carbono de los productos. El propósito de la Norma ISO 14067 es cuantificar emisiones de GEI asociadas con las etapas del ciclo de vida de un producto, comenzando con la extracción de recursos y la adquisición de materias primas y extendiéndose luego a la producción, el uso y el fin de la vida útil del producto.

Por otro lado, la fotosíntesis es un proceso por el cual el  $\text{CO}_2$  se fija en las plantas este complejo proceso, funciona de forma eficiente en un medio en el que distintos factores naturales afectan a la tasa de fotosíntesis, tales como la luz, la temperatura, la humedad del aire, la disponibilidad hídrica y de nutrientes minerales en el suelo, etc. Es posible considerar también al dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) disponible en el ambiente, principal molécula de la fotosíntesis. La tasa de fotosíntesis de una hoja puede depender de cerca de 50 reacciones dentro de la planta, cada una de las cuales presenta su propia respuesta a cada variable ambiental. Esta tasa fotosintética cambiar en el curso de un día y, también, entre las diferentes estaciones del año,

La fotosíntesis es la reacción mediante la cual, la energía de la luz es transformada en energía química en forma de azúcares. En un proceso impulsado por la energía de la luz, se crean moléculas de glucosa a partir de agua y dióxido de carbono, mientras que se libera oxígeno como subproducto. Las moléculas de glucosa proporcionan a los organismos dos recursos cruciales: energía y carbono fijo (orgánico) (Joaquin, Isabel, Javier, & Nuria, 2008).

Entre los principales productos que se comercializan en el mundo destacan los bovinos y la carne, el pan, las berries y fresas, los aguacates, el tequila, el azúcar, y los pepinos y pepinillos. Además de la cebolla, las frutas en conserva, las guayabas, el mango, las coles, los cítricos, y el café. De acuerdo a las estadísticas del Banco de México, (Tabla 7) las exportaciones agroalimentarias rebasaron en más de 7.3 mil millones de dólares a lo obtenido por ventas de petróleo y fueron superiores a los ingresos por remesas y turismo (CEDRSSA, 2017).

Tabla 2. Valor de producción de los principales cultivos en México 2001-2030.

VALOR DE LA PRODUCCIÓN					
Cultivo	Crecimiento acumulado	Miles de millones de pesos			
		2016	2018	2024	2030
Arándano	72404.7%	1.65	1.84	2.41	2.97
Frambuesa	10875.9%	3.91	3.94	4.03	4.11
Zarzamora	6633.7%	9.26	9.72	11.12	12.51
Aguacate	<b>501.6%</b>	<b>30.27</b>	<b>32.91</b>	<b>41.77</b>	<b>50.63</b>
Maíz blanco	1821.9%	87.35	86.46	83.85	81.31
Maíz amarillo	2429.7%	11.91	12.56	14.52	16.49
Agave	112.3%	8.05	8.37	9.30	10.24
Jitomate	264.3%	23.87	28.16	41.03	53.90

Arroz	190.7%	0.98	0.99	1.05	1.10
Fresa	888.6%	7.83	8.12	9.01	9.90

Adaptado de SAGARPA, 2018.

El mercado interno tiene alta relevancia para el crecimiento económico de cualquier país del mundo y ante el entorno de una economía débil a nivel internacional como la que existe actualmente. La producción y el consumo al interior de una región o nación se vuelven indispensables para el logro del desarrollo económico sostenido. El modelo económico en México es de la liberalización comercial y financiera de los mercados nacionales, el cual ha provocado la internacionalización del mercado interno, en tanto que abrió las puertas de éste a casi todos los competidores del mundo, y muchas mercancías y servicios importados, entran al país preferencialmente y con aranceles e impuestos al comercio exterior cero, debido a los múltiples acuerdos comerciales que tiene México. La producción para el mercado se ha visto descuidada en cuestiones de calidad, privilegiando los productos de exportación, que pasan a ser parte fundamental de la valorización del capital. La apertura económica funciona como una forma de política económica para el combate a la inflación, permitiendo adquirir en el exterior, productos con bajos costos que las producidas en el país, lo que en un principio favorece al consumidor pero a la larga deteriora la producción interna (CEDRSSA, 2017).

Ahora el mundo se concentra en realizar acciones que cumplan con la promesa del Acuerdo Mundial contra el Cambio Climático aprobado en la vigésima primera Conferencia de las Partes, celebrada en París (Acuerdo de la COP 21), para lograr los objetivos del Acuerdo de París y se actúe con mayor ambición.

La fijación del precio del carbono desempeña un papel fundamental, ya que es una herramienta eficiente para reducir la contaminación climática con la magnitud y el ritmo que exige la ciencia.

Al fijar un precio al Carbono se garantiza que queden reflejados en el mercado los verdaderos costos de los combustibles fósiles y los beneficios de una energía limpia;

que la eficiencia energética obtiene todo su rendimiento; y que la protección forestal goza de un valor económico claro. La fijación del precio del carbono promueve hoy las inversiones en sistemas rentables para la reducción de emisiones, al tiempo que se libera el potencial de la innovación en tecnologías del mañana con bajas emisiones de carbono. Y al establecerse el precio del carbono se respaldan un crecimiento limpio y sustentable y la creación de empleo en el contexto de una transición económica resiliente y favorable al clima, al tiempo que se generan ingresos públicos que se pueden utilizar, entre otras cosas, para ampliar la reforma fiscal o apoyar medidas en favor del clima.

Lo positivo es que la fijación del precio del carbono está ganando cada vez más aceptación por todo el mundo: 66 jurisdicciones (en las que habitan más de 1 600 millones de personas) aplican ya programas de comercio de derechos de emisión o impuestos sobre el carbono. Se sabe que 90 países utilizan alguna forma de determinación del precio del carbono como medio para alcanzar las contribuciones determinadas a nivel nacional (*Nationally Determined Contributions, NDC*) que comunicaron antes de la Conferencia sobre el Cambio Climático de diciembre de 2015 en París. Países, estados, provincias, ciudades y otras jurisdicciones trabajan activamente en la búsqueda de sistemas de fijación de precios del carbono (Banco Mundial, 2016).

Canadá ha realizado inversiones nuevas y cuantiosas en tecnologías limpias, e incrementará el nivel de ambición de las políticas medioambientales a lo largo del tiempo. Todo ello habilitará a Canadá para la consecución de reducciones aún mayores de las emisiones de gases de efecto invernadero, en consonancia con los compromisos adquiridos por nuestro país en virtud del Acuerdo de París.

La República de Chile fomentó acuerdos públicos y privados que permitan unir las tecnologías del clima y el financiamiento para implementarlas. Este país continuará colaborando en crecimiento verde y mercados de carbono.



Etiopía planeó una ambiciosa contribución de reducir para 2030 en un 64 % sus emisiones derivadas de la actividad empresarial como parte de su política nacional para construir una economía de ingreso mediano ecológica y resiliente al cambio climático. Así mismo renueva sus compromisos de prevenir el cambio climático y fomentar todos los instrumentos políticos y programas de inversión pública, entre ellos la fijación de un precio del carbono, que han demostrado ser efectivos, justos y eficientes. Para cumplir este compromiso, y con el apoyo del Banco Mundial, Etiopía hará público un estudio en el que se formulan recomendaciones sobre la función y posibles formas de las políticas de fijación de precios del carbono en Etiopía, que podrían ser asimismo aplicables a países en desarrollo similares de ingreso bajo.

Francia decidió, a nivel nacional, incluir la trayectoria de su impuesto sobre el carbono en el proyecto de ley sobre transición energética hacia un crecimiento limpio con el fin de mejorar la previsibilidad para los actores económicos. Este país, por consiguiente, se comprometió a mejorar su impuesto sobre el Carbono avanzando por esta vía, es decir, incrementando su tarifa desde los 22 € en 2016 hasta los 56 € en 2020 y los 100 € en 2030.

Por lo que respecta a Alemania puso de manifiesto la importancia de la Plataforma del Mercado de Carbono, que brinda un foro para el diálogo estratégico de alto nivel entre Gobiernos mediante el que analizar oportunidades de cooperación orientadas a acelerar el desarrollo de un mercado mundial del carbono. La plataforma inició su trayectoria bajo los auspicios de la presidencia del G7 en 2015 y se desarrollará con el apoyo técnico de la OCDE.

Por su parte México ha trabajado en el establecimiento de un mercado de carbono, así como en un sólido mecanismo nacional de certificados de energía limpia para el sector eléctrico en 2018. Ambos esfuerzos apoyarán directamente la consecución de los objetivos nacionales de mitigación.

La ejecución de estos objetivos se basará en mecanismos de mercado que México comenzó en 2013, varios de los cuales ya se han incorporado en la legislación; un impuesto al carbono aprobado por el Congreso (a través de modificaciones en la Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios, IEPS) que abarca los combustibles fósiles por el contenido de carbono, salvo el gas natural. Este impuesto al carbono tiene el objetivo de crear conciencia sobre el medio ambiente y de fijar un precio al carbono, de manera que refleje las externalidades y ayude al sector privado a transitar hacia el consumo y el uso de combustibles más limpios; los Certificados de Energías Limpias fomentan el desarrollo y uso de tecnologías de bajo carbono que se derivan de la reforma energética del año 2014; una iniciativa de bonos verdes a través de la Bolsa Mexicana de Valores en apoyo al desarrollo de las inversiones verdes en México.

El programa de tope y canje de California es una de las estrategias claves del estado para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que causan el cambio climático. El compromiso de California consiste en armonizar su programa de tope y canje con el cumplimiento de sus objetivos en materia de cambio climático, especialmente con la reducción de emisiones a los niveles de 1990 en 2020, y a un 80 % por debajo del nivel de 1990 en 2050.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) es una organización internacional cuya misión es diseñar mejores políticas para una vida mejor. El compromiso de la OCDE consiste en brindar apoyo a los países para la implementación del Acuerdo de París y sus previstas contribuciones determinadas a nivel nacional (*Nationally Determined Contributions NDC*), basándose en los amplios conocimientos en la práctica de la regulación y fijación de precios del carbono, en el análisis y reforma de los subsidios a los combustibles fósiles y la fiscalidad de la energía. La OCDE hará más hincapié en los desafíos a los que se enfrentan los países en materia de mitigación. En concreto, contribuirá a una mayor transparencia de las políticas de mitigación y sus resultados en los países y asociados clave de la OCDE. Prestará apoyo a los países en la elaboración y puesta

en marcha de estrategias y políticas rentables de mitigación que sea posible mantener e intensificar a lo largo del tiempo (Banco Mundial, 2016).

## Justificación

La creciente regulación ambiental presente en muchos países, tanto desarrollados como en vías de desarrollo influye en la valoración de los costos asociados a la producción de un alimento o servicio, pese a estos avances, aún existen muchos países con escasa o nula o escasa acción ambiental.

A nivel nacional, la problemática se basa en la falta de conocimiento sobre la producción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas durante la producción de alimentos; en lo particular los datos que se puedan manejar son producto de las mediciones en otros sistemas que no tienen relación con una realidad nacional al no conocer el proceso de producción en las condiciones locales. Siendo el sistema de producción de aguacate (*Persea americana*, Hass), un hito en la agricultura mexicana que además tiene mercados internacionales actuales y con una perspectiva creciente es necesario considerar la importancia de realizar estas mediciones bajo un esquema de producción local, pero con proyección internacional, además de implementar por vez primera un sistema de medición de huella de carbono que permita establecer medidas eficientes de reducción y mitigación en los sistemas agroalimentarios.

Con este proyecto se pueden establecer medidas en el sistema de producción de aguacate para cumplir con la normatividad vigente de La Ley General de Cambio Climático de México, que desde el 2012 pugna por los esfuerzos a realizar a fin de reducir los GEI y cumplir los compromisos adquiridos por México ante la comunidad internacional. Lo anterior, se ve reflejado en la implementación de acciones de mitigación que tengan como resultado la reducción de emisiones de GEI al año 2030 (SEMARNAT, 2015) aunado al compromiso asumido por México en el convenio ratificado sobre los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas.

Por otro lado, los mercados actuales son cada vez más exigentes respecto a la sustentabilidad de los productos que se consume. Conscientes de ello, los gobiernos e instituciones académicas realizan esfuerzos para demostrar científicamente que sus productos tienen un bajo impacto al clima. Existe un creciente número de países en especial los que tienen vocación exportadora, que diferencian sus productos en el mercado nacional e internacional con una Huella de Carbono de producción menor que la de sus competidores.

Como se mencionó anteriormente, hasta a la fecha no existen datos en México de medición de huella de carbono en el sistema producción de aguacate. Este proyecto será el primer trabajo de medición de huella de carbono, y que a su vez considere como factor a incluir en esta herramienta un seguimiento *in situ* la fijación por procesos fisiológicos de Carbono del aguacate por la especie en un ambiente tropicalizado.

Finalmente se evalúa la huella de carbono no solo como un mero elemento de cálculo, sino como una base objetiva que conduzca a la mejora del uso eficiente de los recursos naturales que inciden en el cuidado del territorio, así como en el compromiso de reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero y eficiencia agroalimentaria.

# OBJETIVO

## **Objetivo General:**

Evaluar la Huella de Carbono en dos unidades de producción de aguacate Hass (*Persea americana*, Hass) en el estado de Jalisco, para generar el diseño de estrategias sustentables en producción.

## **Objetivos particulares:**

1. Identificar y cuantificar la captura/emisión de carbono en dos unidades de producción de aguacate Hass y sus principales sumideros o fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero para la determinación de la Huella de Carbono y generar estrategias sustentables en su producción.
2. Realizar un estudio ecofisiológico en dos unidades de producción de aguacate Hass para determinar la capacidad de intercambio de gases para determinación de fijación de Carbono.

# METODOLOGÍA

## DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se llevó a cabo en dos unidades de producción de aguacate Hass en el municipio de Zapotlán El Grande, Rancho 1 y Rancho 2. Se eligió esta ubicación debido a la importancia del municipio en la producción de aguacate, pues se encuentra en segundo lugar a nivel nacional y en primer lugar en la producción estatal.

El municipio forma parte de la región sur del estado de Jalisco. En la Figura 8 podemos observar que colinda con los municipios de Gómez Farías al norte, Tamazula de Gordiano al este, Zapotiltic al sureste, Zapotitlán de Vadillo al suroeste, Tuxpan al sur y con San Gabriel al oeste.

El municipio está localizado entre las coordenadas 19°34'12" y 19°46'00" de latitud noreste y 103°23'00" y 103°38'00" de longitud oeste a una altura promedio de 1'580 metros s.n.m.

Tiene una extensión de 295.29 Km<sup>2</sup> lo cual representa aproximadamente el 0.4% de la superficie total del Estado y lo posiciona en el lugar 87 en relación a otros municipios del estado (IIEG Jalisco, 2018). Su cabecera municipal, Ciudad Guzmán, se ubica al este de la región y en la figura 8 se representa en amarillo, justo debajo de la Laguna de Zapotlán, el cuerpo de agua más grande del municipio.

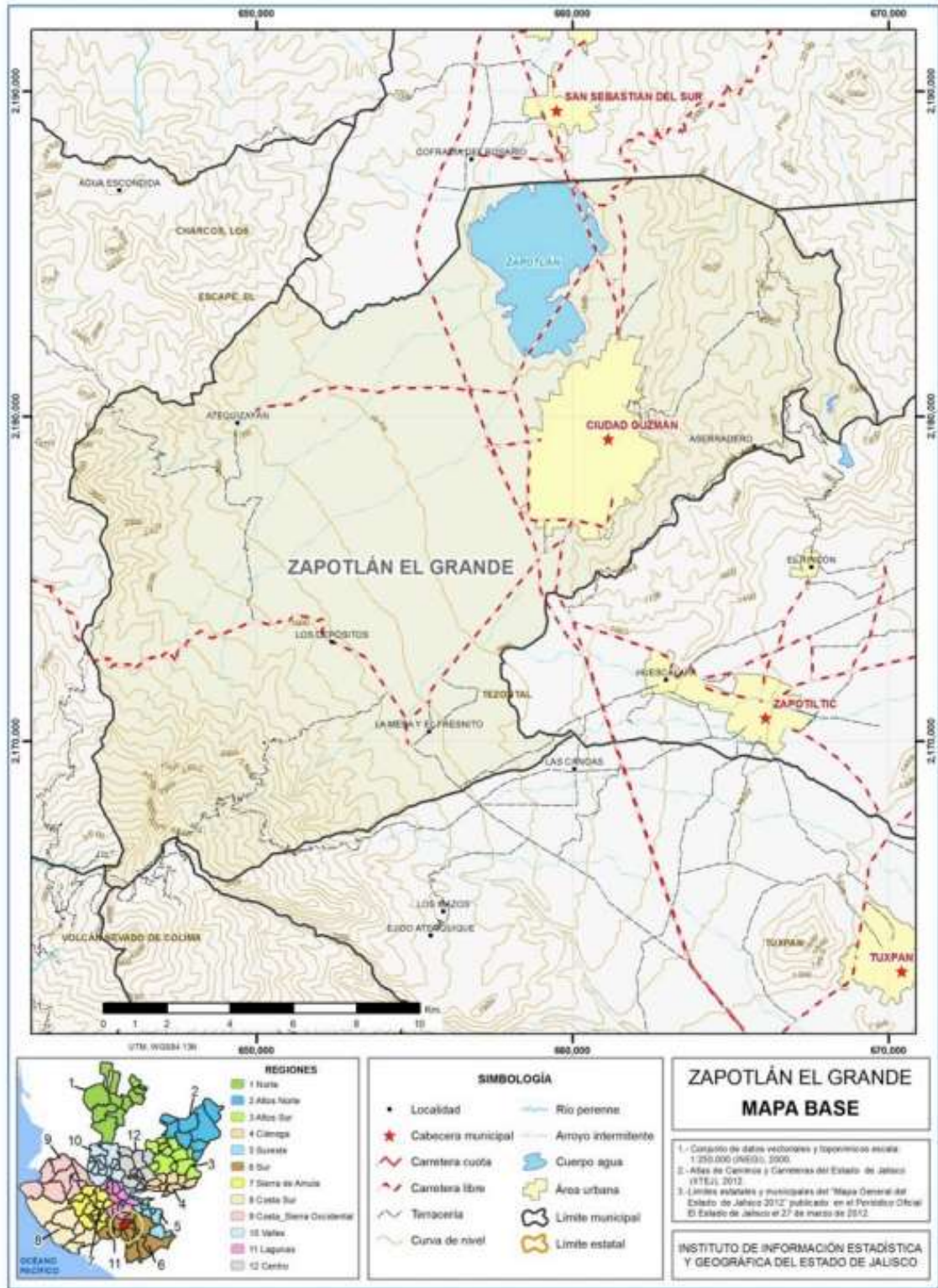


Figura 8. Ubicación geográfica de Zapotlán el Grande. (INEGI 2012).



Como se puede observar en la Figura 9, el 49.9% de la superficie del municipio posee suelos planos con pendientes menores a 5° (IIEG Jalisco, 2018); el 16% corresponde a superficies semiplanas localizadas al Sur. Al sureste se pueden encontrar la mayoría de las zonas accidentadas (38%) en colindancia con Nevado de Colima (Gobierno de Zapotlán, 2000).

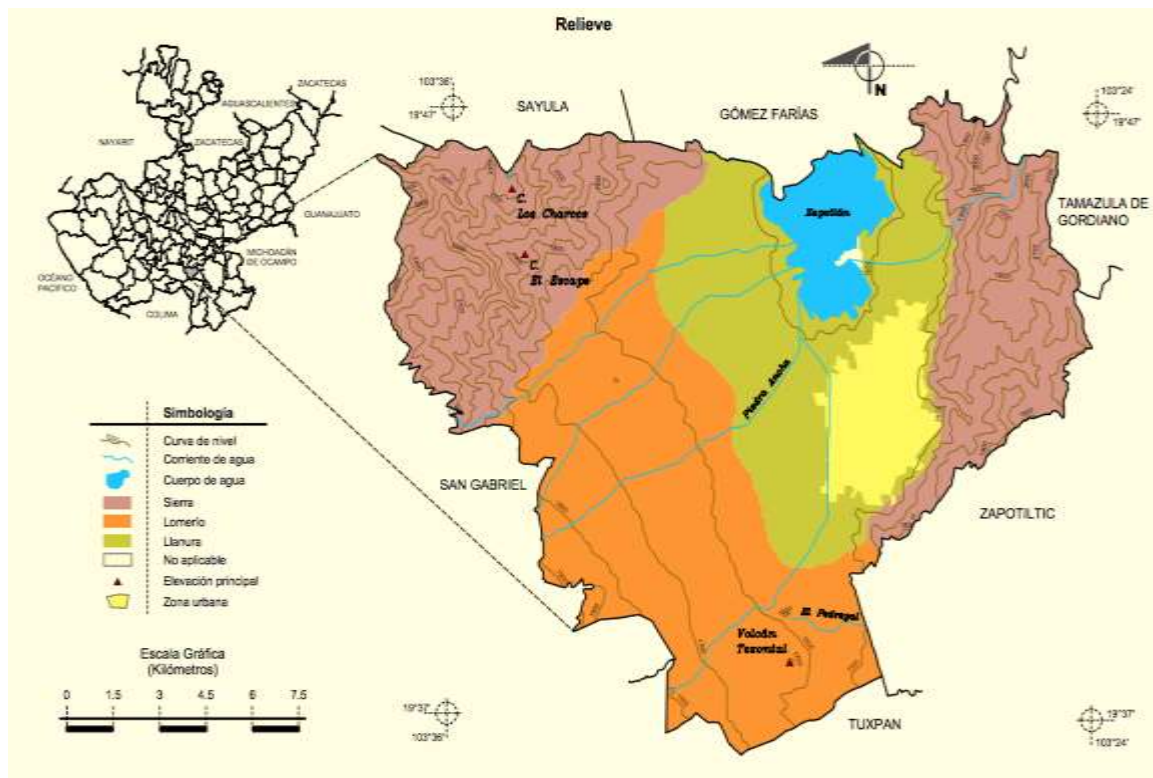


Figura 11. Relieve de Zapotlán el Grande. (INEGI, 2009).

El suelo predominante en el 53% del municipio es el regosol (Figura 10); suele ser de poco desarrollo y pobre en materia orgánica. Suelen ser someros con fertilidad variable con una productividad relacionada con su profundidad y pedregosidad con rendimientos variables en el uso forestal. La agricultura ocupa el 48.6% del uso de suelo de la entidad; seguido por bosque con el 33.7% de cobertura, el porcentaje restante se distribuye entre selvas, pastizales y otros tipos de vegetación (10.3%); asentamientos humanos (4.8%) y cuerpos de agua (2.6%)(Figura 11) (INEGI, 2009).

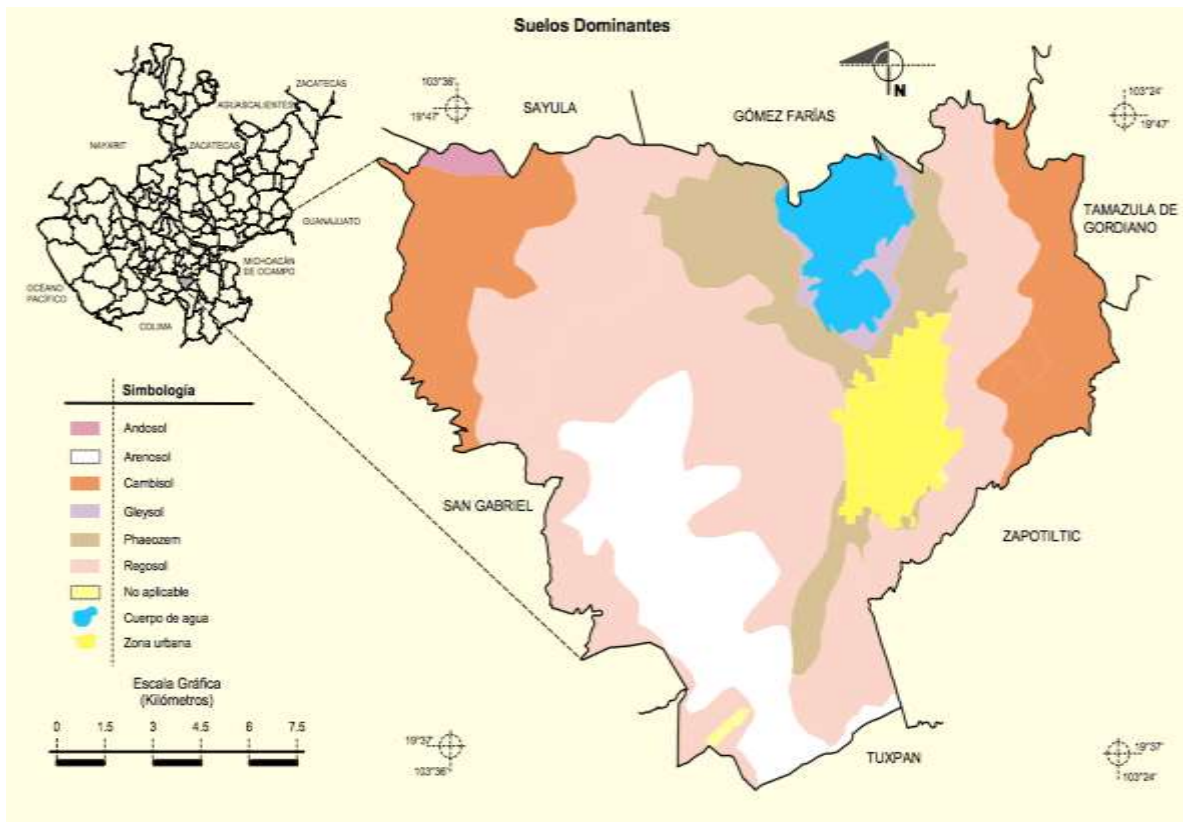


Figura 12 Suelos dominantes de Zapotlán el Grande. (INEGI 2009).

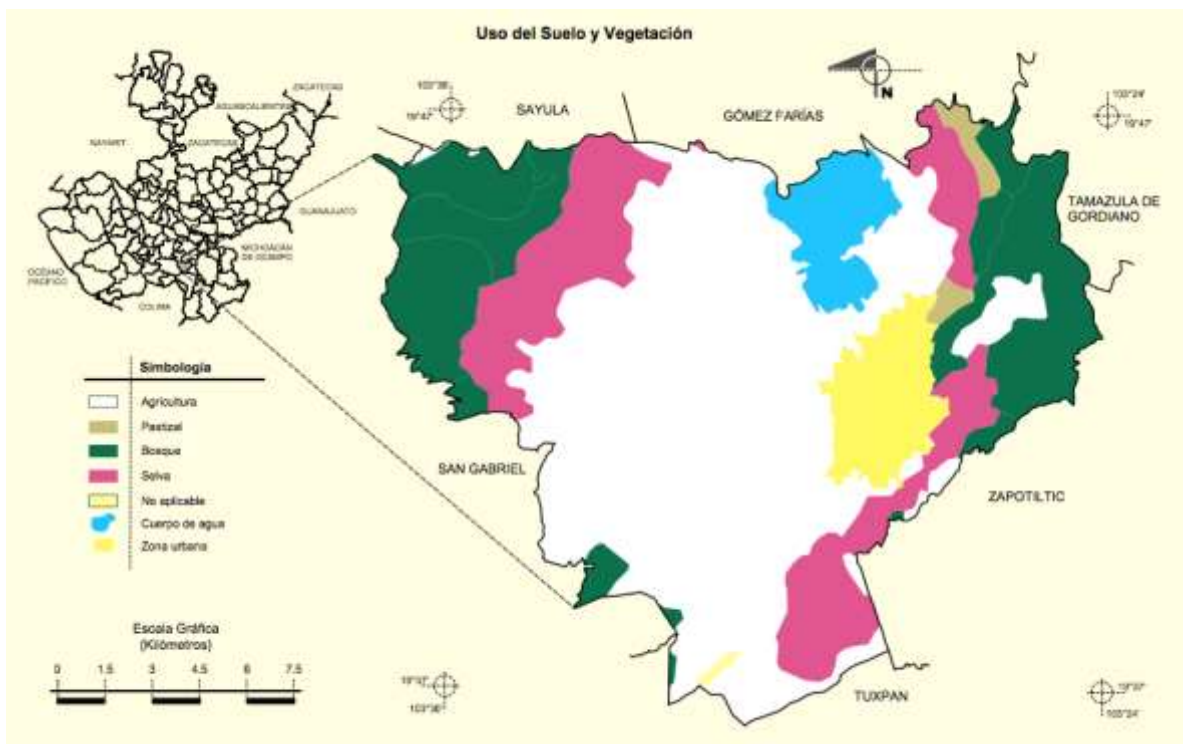


Figura 13. Uso de suelo y vegetación dominante en Zapotlán el grande (INEGI, 2009).

Las clases de rocas presentes en la región se muestran en la figura 12. La roca más abundante está compuesta por una combinación de arenisca (constituidas por minerales con fragmentos de 1/16 mm a 2 mm) y conglomerado (de grano grueso de entre 2 mm y 250 mm) formados por rocas sedimentarias epiclásticas; aunque también es posible encontrar suelos aluviales, toba, y rocas extrusivas ácidas y extrusivas intermedias (IIEG Jalisco, 2018).

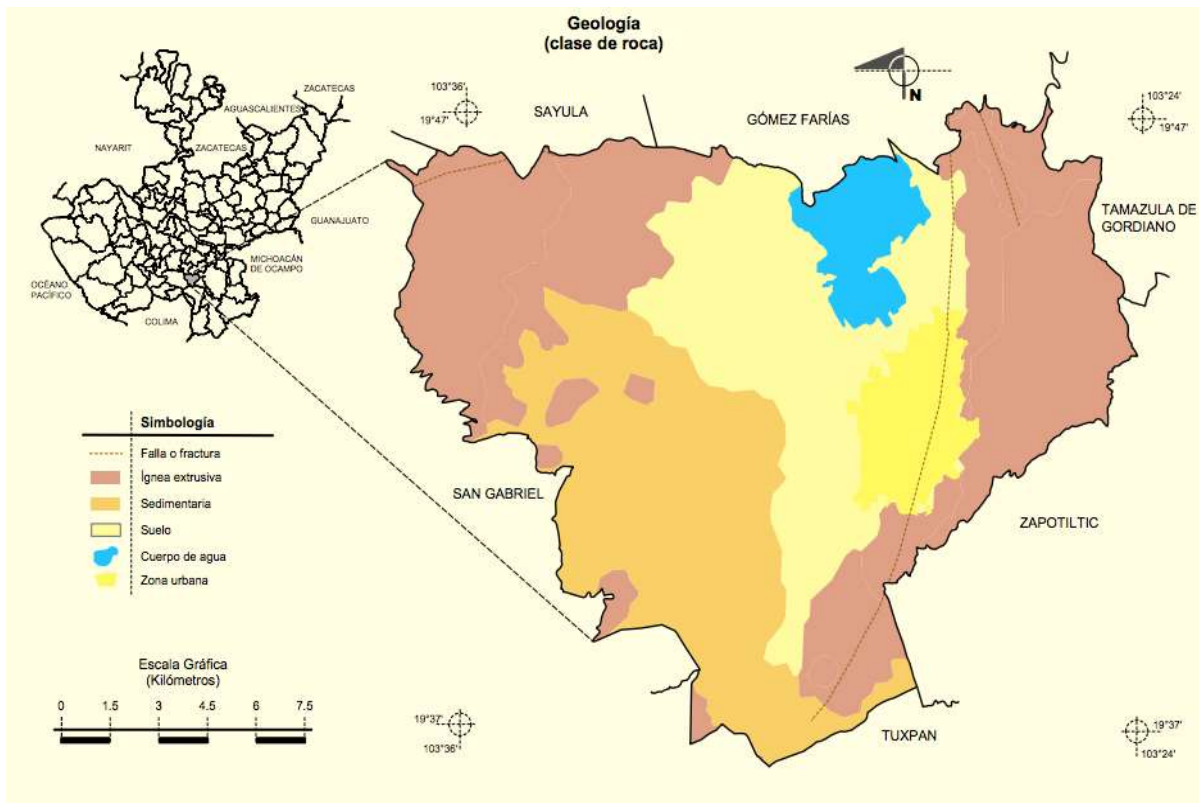


Figura 14. Geología de Zapotlán el Grande (INEGI, 2009)

Zapotlán ostenta cuatro climas distintos (Figura 13): frío, semifrío subhúmedo, templado subhúmedo y finalmente semicalido-semihúmedo que se manifiesta en casi el 77% de la superficie del municipio (IIEG Jalisco, 2018). Presenta inviernos y primaveras secos y semicálidos. La estación invernal está bien definida con presencia de heladas entre diciembre y enero. La precipitación media anual es de 1000 mm<sup>3</sup>. La estación de lluvias comprende los meses de junio a diciembre. La

temperatura media anual alcanza los 17.4°C con temperaturas máximas y mínimas que fluctúan entre 6.1°C y 28.5°C.

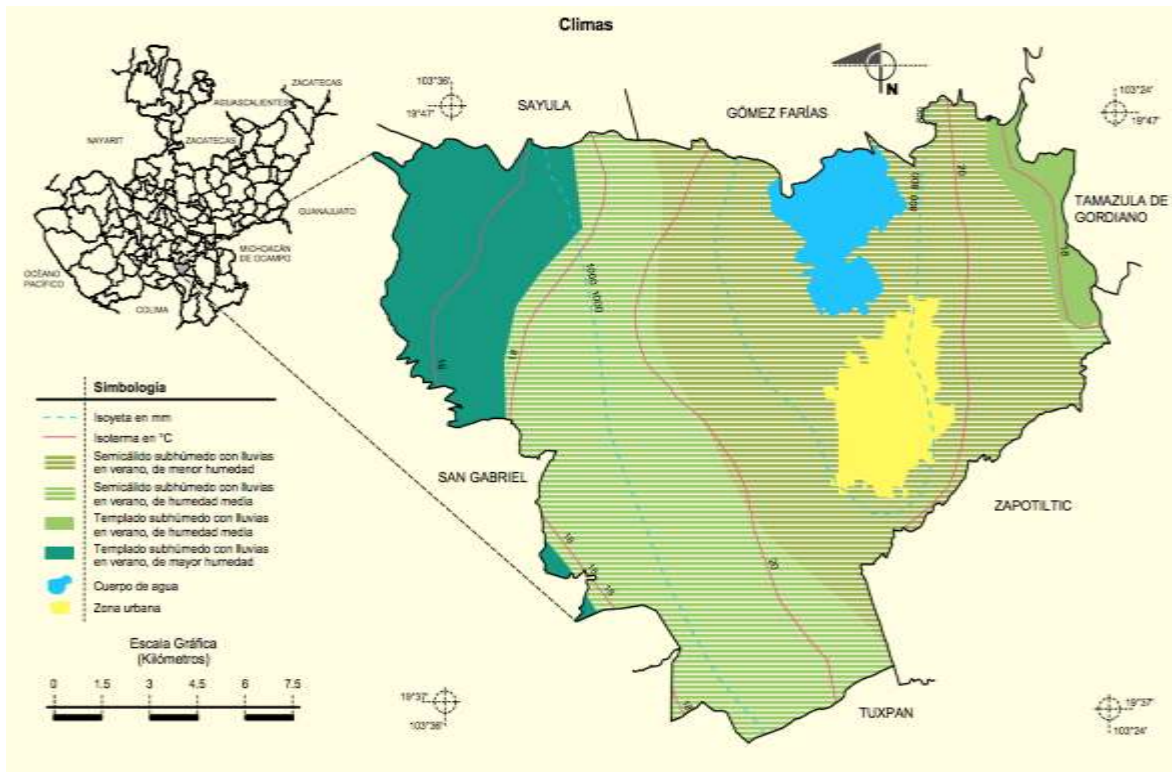


Figura 15 Climas de Zapotlán el Grande. (INEGI, 2009)

El municipio no posee ríos, no así, numerosos arroyos de gran importancia para el sistema de riego de las tierras municipales como: La Joya, el Leoncito, Los Guayabos, Chuluapan y el Chapulín (Gobierno del Estado de Jalisco, 2015). Al Norte se forma la laguna de Zapotlán un cuerpo de agua que cubre una extensión de 1,800 hectáreas.

Según datos del INEGI, en 2017 la Agricultura solo tenía una representación del 0.1% en relación a unidades económicas, sin embargo, de acuerdo a los registros del IMSS en el 2017, Zapotlán el Grande contabilizó un total de 11,556 trabajadores asegurados en el rubro de Agricultura, lo que se traduce en el 38.3% de las personas económicamente activas registradas (INEGI, 2009). Durante el periodo de 2013 a

2017 dicha actividad mostró un aumento en la plantilla de 4,809 empleados asegurados (Figura 14).

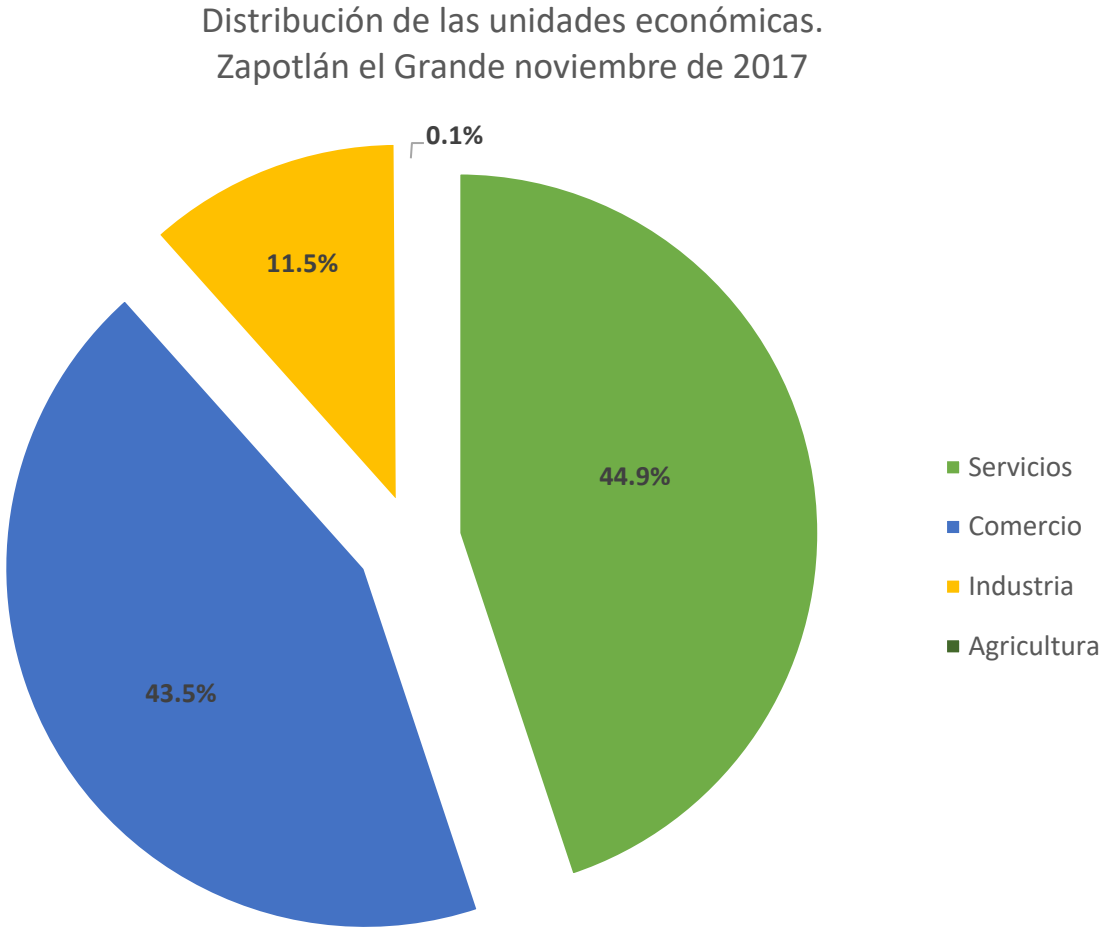


Figura 16. Distribución de las unidades económicas de Zapotlán el Grande durante 2017.



En el año 2010 se contabilizaban 52 localidades en el municipio. Durante el año 2015 la población estimada era de 105 mil 423 habitantes de los cuales, el 51.4 por ciento eran mujeres y 48.6 hombres (Figura 15).

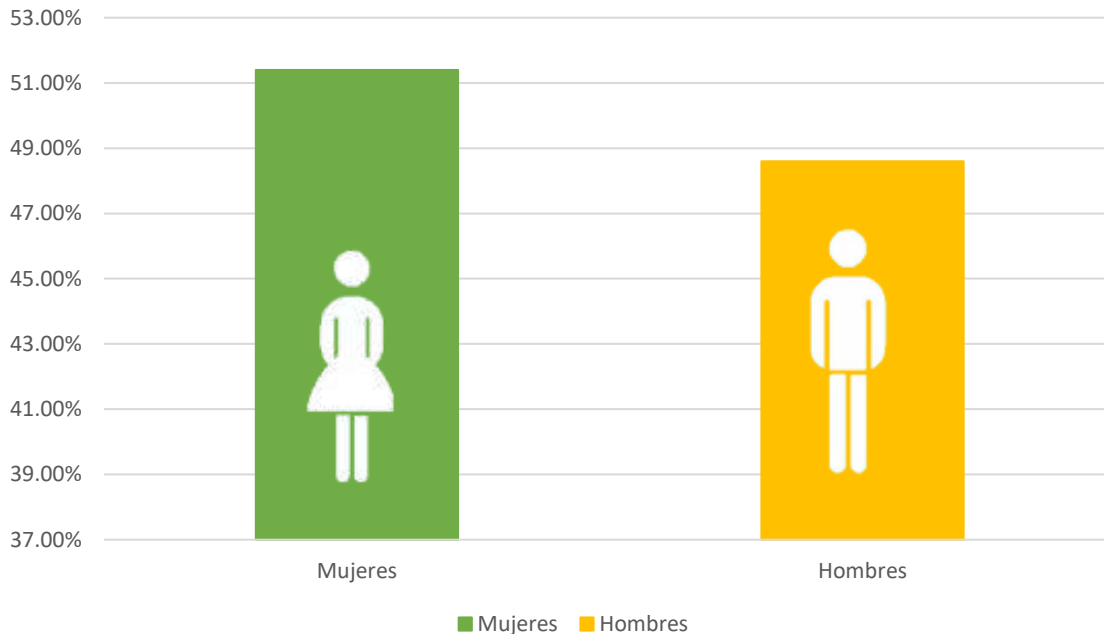


Figura 17. Población de Zapotlán el Grande en 2015. Elaboración propia con datos de INEGI, 2012.

Para la captura de la información fueron seleccionados dos sitios productores de aguacate que cumplieran con los siguientes requisitos:

- Facilidad de acceso a la información.
- Sistema productivo jalisciense.
- Promedio de 20 hectáreas de extensión.
- Edad mínima de los árboles de 12 años.

Dichos sitios, denominados en adelante Rancho 1 y Rancho 2, se localizan en las coordenadas 663509.14 E, 2181439.80 N y 662882.43 E, 2175915.06 N, respectivamente (Figura 16)

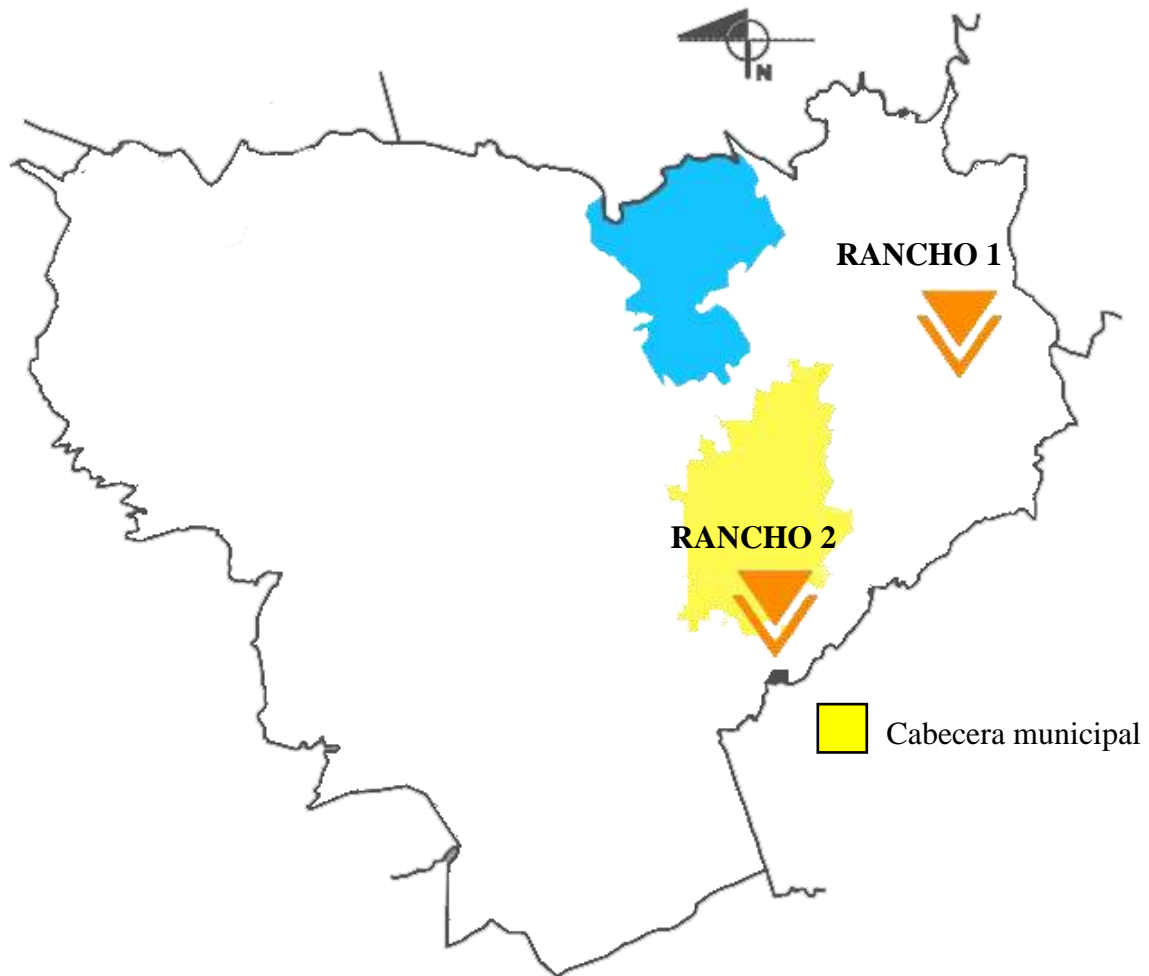
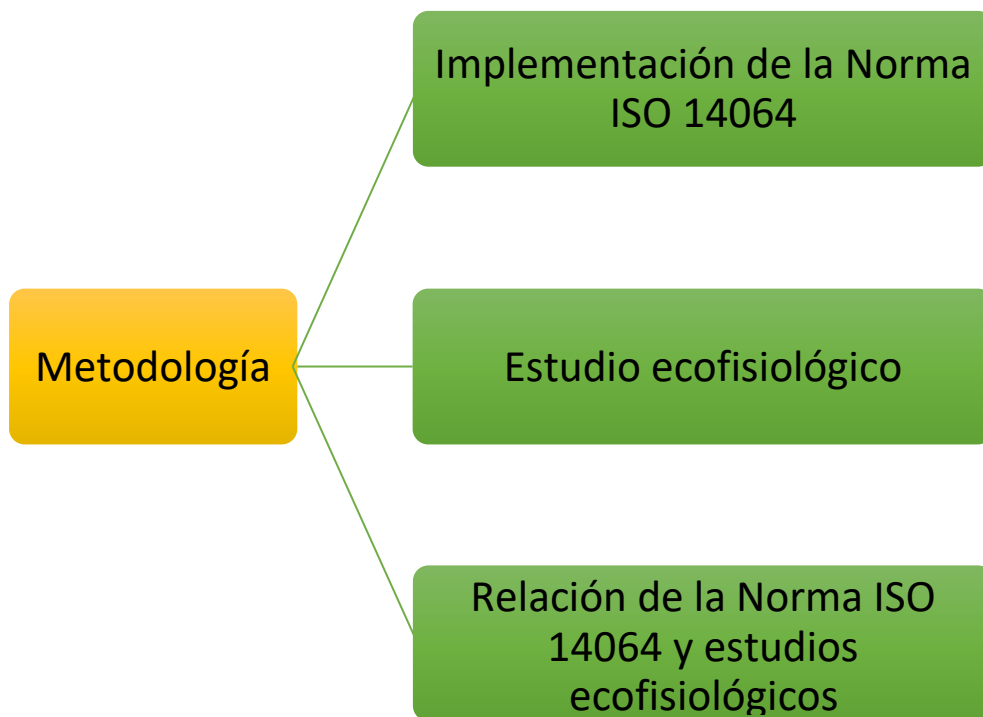


Figura 18. Ubicación geográfica de las áreas de estudio.

La metodología que se utilizó para la estimación de la Huella de Carbono en los dos sitios se realizó mediante la implementación de tres etapas (Figura 17). En primer lugar, se efectuó la implementación de la norma ISO 14064 con la que se identificaron y cuantificaron las fuentes emisoras de GEI. Asimismo, se realizó el estudio ecofisiológico de la planta y se estimó el carbono total que fija el sistema productivo. Finalmente se estimó la diferencia entre el carbono emitido y el carbono fijado y se obtuvo la Huella de Carbono total.



*Figura17. Metodología utilizada en éste estudio para la estimación de la Huella de Carbono.*



## IMPLEMENTACIÓN DE LA NORMA ISO 14064

La implementación de la Norma ISO 1464 se realizó de acuerdo al esquema de la Figura 18. En primer lugar, se delimitan los límites, posteriormente se procede a la identificación de las emisiones a través de la revisión de los registros y entrevistas a los involucrados en el sistema productivo. Una vez que se identifican las emisiones es posible cuantificarlas para obtener la suma total de emisiones del sistema productivo. Por último, se genera el informe.

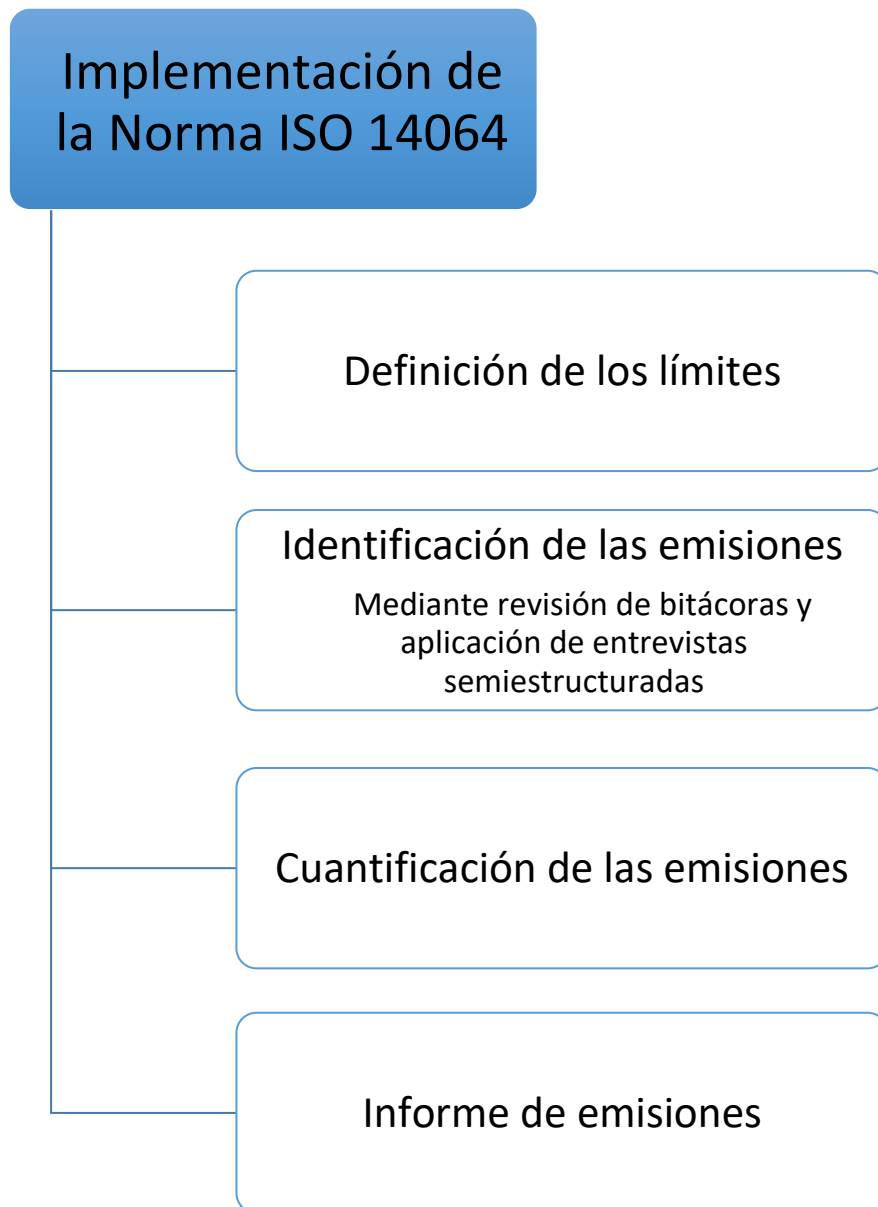


Figura 18. Metodología de la Norma ISO 14064 utilizada en este estudio.

## Definición de los límites e identificación de emisiones.

Con la finalidad de comprender el sistema productivo y el manejo de la huerta para el establecimiento de los límites se aplicaron entrevistas semiestructuradas a los productores, trabajadores y proveedores de insumos, con dicha información fue posible conocer el sistema productivo generar la definición de los límites e identificar las fuentes emisoras de GEI. Para los objetivos del presente trabajo se consideraron los alcances obligatorios 1 y 2 establecidos en la norma ISO 14064 (descritos previamente), los rubros considerados dentro de cada alcance se despliegan en la Figura 19.

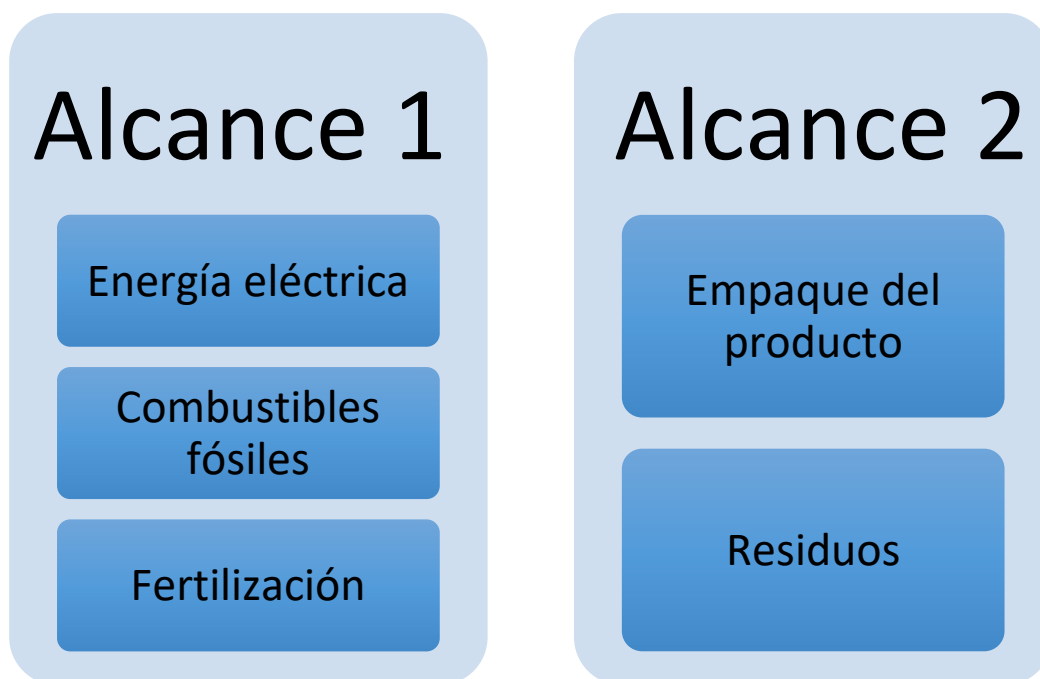


Figura 19. Descripción de las emisiones según los alcances 1 y 2 de la metodología ISO 14064.

En el alcance 1 se considera la energía utilizada directamente dentro del proceso productivo identificadas fueron el consumo de energía eléctrica, el uso de combustibles fósiles y la aplicación de fertilizantes en el sistema productivo. Dentro del alcance 2 se reúnen las emisiones indirectas, las fuentes identificadas dentro de este alcance incluyeron los empaques y embalajes de la producción y los residuos.

## Cuantificación de emisiones

Posterior a la definición de límites se realizó la cuantificación de las emisiones utilizando para ello la información proporcionado por las bitácoras de aplicaciones de agroquímicos y manejo de la huerta; y los registros de consumo de energía eléctrica y agua. Para la cuantificación de las emisiones se utilizaron los factores de emisión específicos para México proporcionados por la INECC. Para el cálculo de la Huella de Carbono se utilizó la siguiente fórmula:

$$(HdC) = (DA) (FE)$$

donde:

(DA), es la variable que define el grado o nivel de la actividad generadora de las emisiones de GEI. Por ejemplo, cantidad de gas natural utilizado en la calefacción (kWh de energía eléctrica).

(FE) es el factor de emisión y supone la cantidad de GEI emitidos por cada unidad de DA.

Los resultados de este cálculo son expresados en Kg CO<sub>2</sub>eq (Kilogramos de dióxido de carbono equivalente).

## Estudio Ecofisiológico

Durante esta etapa del estudio se determinó la capacidad de captura de Carbono de los árboles de aguacate utilizando para ello la medición de la capacidad fotosintética de la especie. Se generó el registro de fijación de Carbono *in situ* de manera instantánea (capacidad de fijación por intercambio de gases). Las mediciones se realizaron en ambos ranchos.

La metodología implementada para determinar el intercambio de gases se basó en estudios internacionales llevados a cabo en el dominio de ecofisiología vegetal con adecuaciones realizadas ex profeso para este estudio (Figura 20). Para la estimación de la Huella de Carbono en aguacate se tomaron las mediciones de las tasas instantáneas de asimilación neta de CO<sub>2</sub>. Dichas medidas proporcionaron datos puntuales y específicos de asimilación para los sistemas de producción de aguacate Hass. Para poder realizar la estimación neta de carbono en los sistemas productivos también se tomaron datos de respiración y fotorrespiración (intercambio de gases).

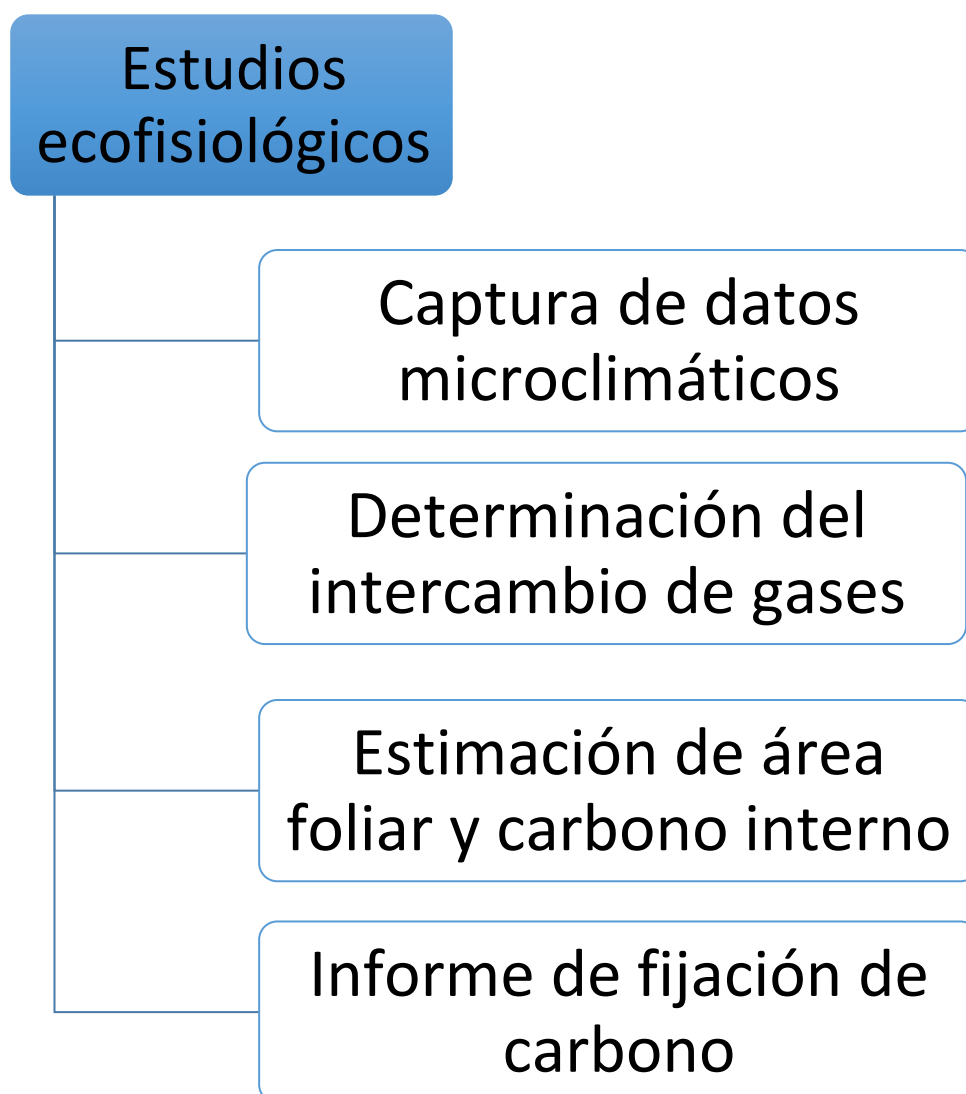


Figura 20. Metodología usada en el presente estudio para el desarrollo del estudio ecofisiológico de la planta de aguacate.

## CO<sub>2</sub> atmosférico

La determinación de la disponibilidad de CO<sub>2</sub> ambiental, se realizó mediante mediciones microambientales de CO<sub>2</sub> realizadas itinerantemente cada hora a lo largo del día, se empleó para ello el analizador de infrarrojo de CO<sub>2</sub> que cuenta con un sensor de CO<sub>2</sub> tipo NDIR (infrarrojo no dispersivo, por sus siglas en inglés) y un sensor de capacitancia de humedad.

## Intercambio de gases

La determinación de intercambio de gases (fotosíntesis/respiración), en árboles de aguacate Hass se realizó en ambos ranchos utilizando un sistema portátil de análisis de gases al infrarrojo. Para medir la intensidad fotosintética se aseguró la hoja dentro de la cámara por dos minutos (Figura 21). Las medidas se tomaron en hojas de diferentes posiciones del follaje de árboles de aguacate seleccionados al azar. Con los datos obtenidos del intercambio de gases se calculó la tasa de fijación de Carbono, la cual incidió en la medición de la Huella de Carbono.

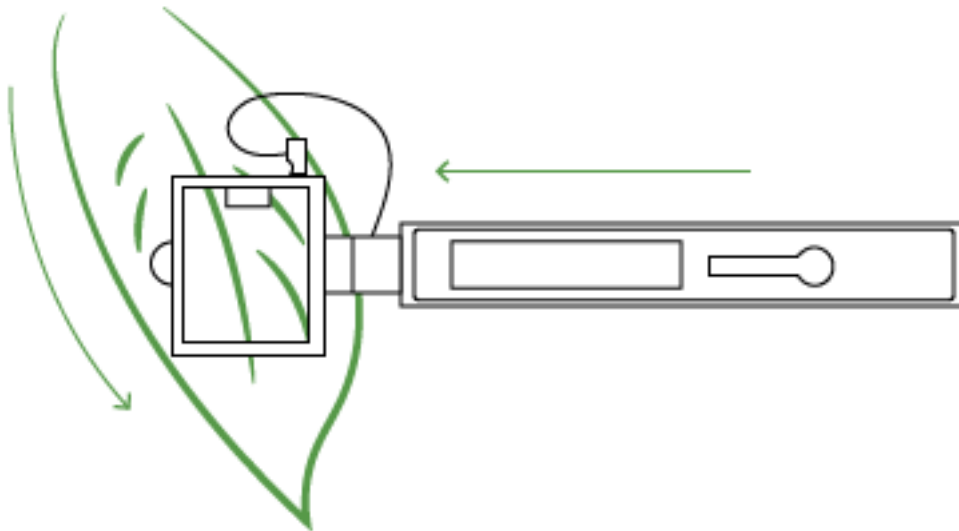


Figura 19. Posición del sistema portátil de análisis de gases al infrarrojo durante la medición en hojas de aguacate.

## **Estimación de área foliar**

Con el fin de realizar el cálculo de la capacidad de fijación de Carbono de la especie en estudio de forma integral, y para completar los datos obtenidos de las mediciones de intercambio de gases, se determinó el área foliar de la fronda con la ayuda de un medidor portátil de área foliar con tecnología láser que posee un escáner láser de alta resolución y un registro de datos. El sistema permitió tomar medidas de hojas vivas deslizando la hoja a través del instrumento. Se obtuvieron cinco parámetros de medida: área, anchura, longitud y perímetro.

## **Datos Microclimáticos**

Como dato micro climático se consideró el flujo fotosintético de fotones [FFF, longitud de onda de 400 a 700 nanómetros (nm)], se registró a la par de las mediciones de intercambio de gases con un sensor fotométrico de silicio de alta estabilidad. Las mediciones se realizaron en campo abierto y en zona de follaje, en ambos ranchos.

## **Cálculo de la Huella de Carbono total del sistema productivo**

Una vez registrados todos los datos procedimos a calcular la Huella de Carbono del sistema productivo de aguacate en ambos ranchos. Para ello utilizamos la siguiente fórmula:

$$\mathbf{HdCt= HdCp-FC}$$

Donde:

HdCT es la diferencia entre el carbono emitido por el sistema productivo y el Carbono fijado por el mismo sistema. Se expresa en KgCO<sub>2</sub>eq.

HdCp es la Huella de Carbono emitida por el sistema productivo expresada en KgCO<sub>2</sub>eq.

FC es el Carbono total fijado por el sistema productivo y se expresa como KgC.

# RESULTADOS

El presente proyecto se realizó en el Municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, cuya ubicación es: Latitud: 19° 34' 12" y 19° 46' 00" Nte. y 103° 23' 00" a los 103° 38 '00" de Longitud Ote., Altitud: 1,580 msnm, Superficie: 295.29 km<sup>2</sup> (Tabla 3).

Tabla 3. Ubicación de los sistemas de producción de aguacate en estudio en la localidad de Zapotlán el Grande, Jalisco, México.

Sistema de Producción	Ubicación	
	Latitud	Altitud m.s.n.m.
1. Rancho 1	663509.14 E, 2181439.80 N	1845
2. Rancho 2	662882.43 E, 2175915.06 N	1835

Con el apoyo de personal de la SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural) y el APEAJAL (Asociación de Productores Exportadores de Aguacate de Jalisco A.C.) se identificaron dos ranchos productores de aguacate Hass (Figura 23), en donde se realizaron las mediciones de fijación de CO<sub>2</sub> y se llevaron a cabo las entrevistas dirigidas a los productores, al personal de apoyo (i.e. ingenieros, trabajadores de campo), así como a un par de empacadoras para identificar los insumos empleados para la estimación de la Huella de Carbono en el sistema de producción de aguacate.



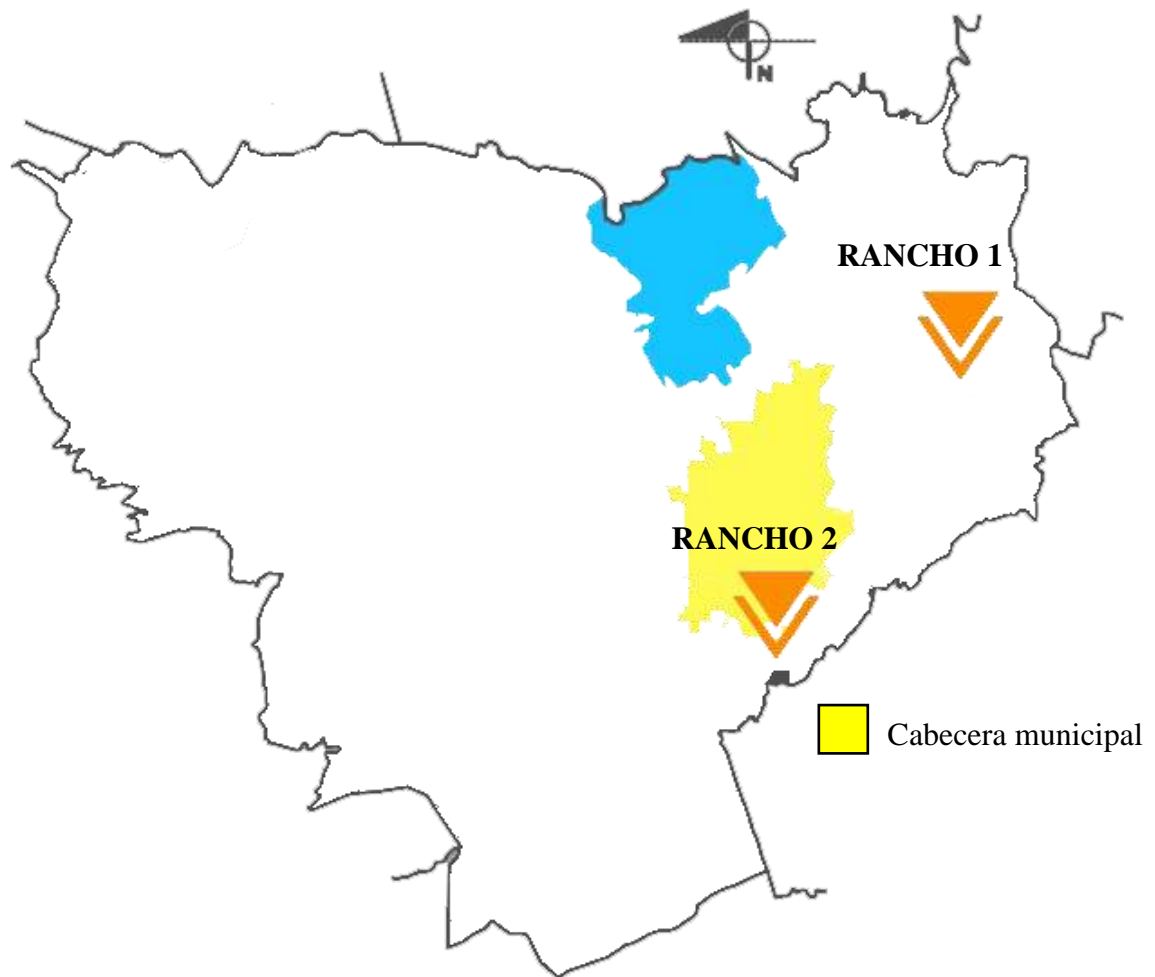


Figura 22. Mapa de ubicación de los sistemas de producción de aguacate. Rancho 1 y 2, Zapotlán el Grande, Jalisco, México.

## IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO CON MAYORES EMISIONES GEI

### Contabilización de emisiones.

A continuación, se detalla el cálculo de la Huella de Carbono, para el proceso de producción de aguacate de las áreas de estudio de los alcances 1 y 2, indicándose en cada caso el dato de actividad y su Huella de Carbono correspondiente (Tablas 2 y 3). Se realizaron entrevistas semiestructuradas para hacer una reconstrucción de las actividades de manejo de cada sistema de producción de aguacate (Figura

24). Se formularon las preguntas para para obtener información sobre, consumo de energía, consumo de combustibles fósiles, uso de fertilizantes, manejo de sus residuos y el empaque. Los resultados de los flujos de GEI se calcularon en términos de un año de producción (proceso) y por hectárea.



*Figura 23. Entrevistas con los productores y encargados del manejo de las unidades de estudio.*

### **Aplicación de fertilizantes.**

La cantidad de fertilizantes aplicada anualmente a las plantaciones de aguacate fue obtenida a partir de los datos de las bitácoras, en la cual se incluía el tipo y dosis de fertilizante (Figura 25).



*Figura 24. Aplicación de fertilizantes en las unidades de estudio.*

### **Uso de combustibles fósiles.**

Los combustibles fósiles utilizados en el manejo de las plantaciones (transporte del personal dentro de la huerta, mantenimiento de las plantaciones y aplicaciones de agroquímicos entre otros), fueron estimados por medio de entrevistas. Se preguntó por la cantidad de combustibles fósiles utilizados en todas las etapas de la cadena de producción (Figura 26).



Figura 25. Vehículos utilizados para el manejo de las unidades de producción de aguacate.

### Uso de electricidad.

Las emisiones de GEI debido a la electricidad se estimaron con base en la cantidad de ésta en el proceso de producción y el factor de emisión. El primer parámetro fue estimado a través del consumo de electricidad reportado en los recibos de la Comisión Federal de Electricidad (Figura 27).



Figura 26. Consumo de electricidad en los sistemas de riego y fertilización.



## **Manejo de sus residuos.**

Las emisiones generadas por el manejo de residuos se estimaron al conocer la cantidad de residuos plásticos, de cartón u orgánicos generados dentro del proceso de producción y el manejo que se le da a estos residuos, a partir de los datos de las bitácoras (Figura 28).



*Figura 27. Manejo de los residuos generados dentro de los procesos de producción.*

## **Material de empaque.**

Para estimar las emisiones generadas por el empaque se tomó en consideración el material del empaque (plástico o cartón) y si estos materiales cuentan con algún porcentaje de reciclado (Figura 29).








*Figura 28. Materiales utilizados en el empaque de la producción.*

Tabla 4. Huella de Carbono anual en “Rancho 1” donde se consideran los rubros asociados con la producción de aguacate y empaque, unidad de producción de 50 hectáreas.

RUBROS		
CONSUMO DE COMBUSTIBLES FOSILES 	GASOLINA	
	DIESEL	
	GAS LP	
CONSUMO DE ENERGÍA ELECTRICA 	CFE	
	CELDA SOLAR	
FERTILIZANTES 	FERTILIZANTES	
MANEJO DE RESIDUOS 	ORGÁNICOS Y PLÁSTICOS NO RECICLABLES	
	PLÁSTICOS (ENVASES VACIOS)	
	CARTÓN	
EMPAQUE 	PLÁSTICO	MALLA
		CAJA
	CARTÓN	

Tabla 5. Huella de Carbono anual en “Rancho 2” donde se consideran los rubros asociados con la producción de aguacate y empaque, unidad de producción de 19 hectáreas.

RUBROS				
CONSUMO DE COMBUSTIBLES FOSILES 	GASOLINA			
	DIESEL			
	GAS LP			
CONSUMO DE ENERGÍA ELECTRICA 	CFE			
	CELDA SOLAR			
FERTILIZANTES 	FERTILIZANTES			
MANEJO DE RESIDUOS 	ORGÁNICOS Y PLÁSTICOS NO RECICLABLES			
	PLÁSTICOS (ENVASES VACIOS)			
	CARTÓN			
EMPAQUE 	PLÁSTICO <table border="1" data-bbox="706 1333 1338 1503"> <tr> <td>MALLA</td> </tr> <tr> <td>CAJA</td> </tr> <tr> <td>CARTÓN</td> </tr> </table>	MALLA	CAJA	CARTÓN
	MALLA			
	CAJA			
CARTÓN				

\*No aplica



## **FIJACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO**

Con la finalidad de integrar datos que forman parte de la estimación de fijación de CO<sub>2</sub> en los árboles de aguacate, se consideraron algunos factores microambientales, mismos que se describen a continuación.

### **CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE GASES.**

#### **Datos microclimáticos**

El Flujo Fotosintético de Fotones (FFF; es decir, el rango de luz que es fotosintéticamente activa), fue registrado en campo abierto y en dosel. La presencia de nubes se refleja en los totales de disponibilidad de luz tanto en campo abierto como bajo dosel, esta situación tiene una relación directa con la eficiencia fotosintética, de la misma manera se realizaron medidas de temperatura y humedad (figura 30) los valores de precipitación y temperatura fueron tomados de la Comisión Nacional del Agua (Figuras 31 y 32).

En ambas unidades de producción, a decir de los propios productores y de los trabajadores y acorde al registro de las bitácoras consultadas, se llevan a cabo labores de poda con la finalidad de permitir la entrada de luz al dosel en la parte inferior, lo cual resulta una actividad adecuada para la producción de energía obtenida a través de la fotosíntesis.



*Figura 29. Captura de datos microclimáticos en las unidades de estudio.*

Tabla 6. Datos microclimáticos de las unidades de estudio.

Unidad de Producción	Temperatura °C	FFF total $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	FFF dosel $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Rancho 1	23.6	1190	209
Rancho 2	21.75	1367	140

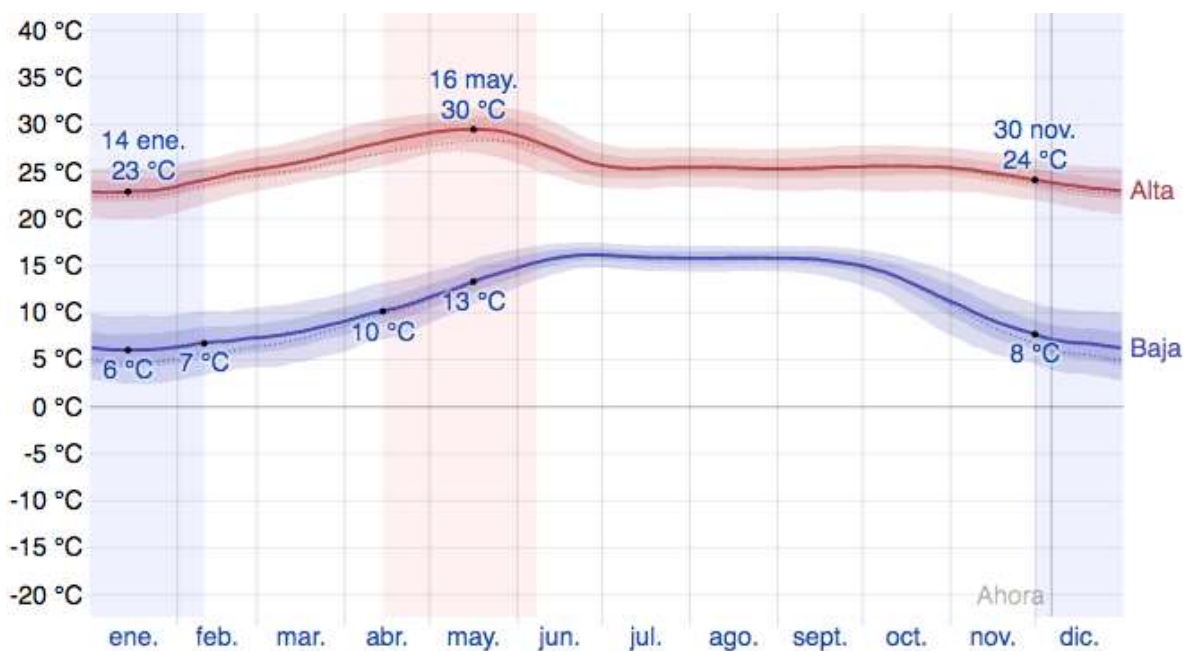


Figura 30. Temperaturas mensuales del año 2019 en Zapotlán El Grande Jalisco. Fuente: Comisión Nacional del Agua.

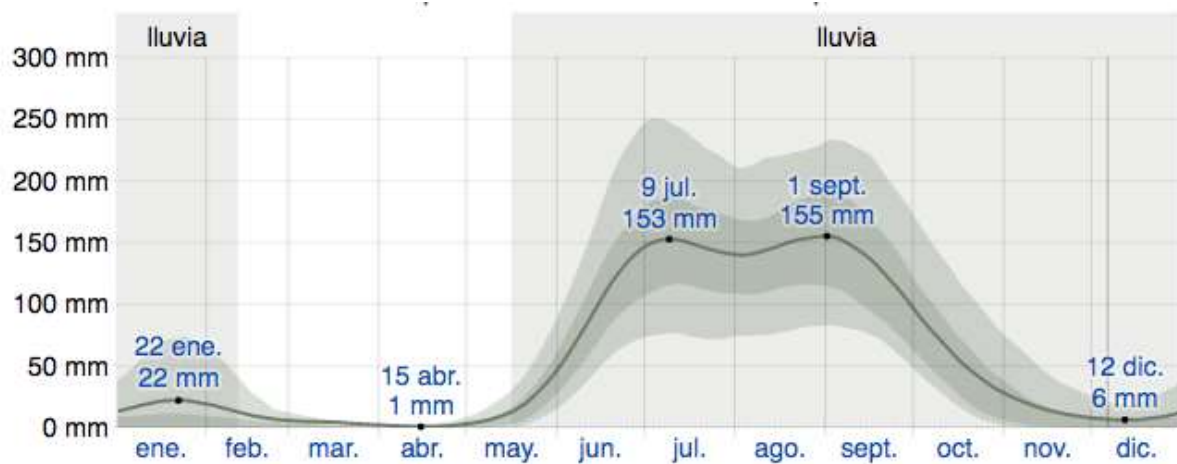


Figura 31. Precipitación mensual del año 2019 en Zapotlán El Grande Jalisco, datos en °C. Fuente: Comisión Nacional del Agua.

## CO<sub>2</sub> atmosférico

Se determinó la disponibilidad de CO<sub>2</sub> externo o atmosférico mediante mediciones microambientales en cada fecha de medición las cuales se realizaron de forma itinerante, a la par de la medición de intercambio y del registro de FFF a lo largo del día empleando un analizador al infrarrojo de CO<sub>2</sub>. Los datos registrados indican que son zonas con poca contaminación, en referencia a la concentración de dióxido de carbono, ya que se presentan valores inferiores a 400 ppm, característicos de zonas urbanas.



Figura 32. Determinación de  $CO_2$  atmosférico.

Tabla 7. Valores promedio de  $CO_2$  atmosférico en las unidades de estudio.

Unidad de Producción	$CO_2$ atmosférico ppm
Rancho 1	308
Rancho 2	306

## Intercambio de gases

La determinación de intercambio de gases en árboles de aguacate se realizó, como se mencionó, en dos unidades de producción. Las tasas instantáneas de asimilación de CO<sub>2</sub> se midieron con un sistema portátil al infrarrojo con la finalidad de registrar datos puntuales de intercambio de gases, en hojas de diferentes posiciones del follaje de la especie en estudio.

En este punto es necesario mencionar que *Persea americana* es una especie perenne, lo cual, generalmente, implica que los datos de fotosíntesis neta sean valores relativamente inferiores a las especies de hoja caduca o bien a los de especies herbáceas. La vida promedio de una hoja es de alrededor de un año, por lo que se determinó la fotosíntesis neta en diferentes edades de hoja para obtener valores promedio.





*Figura 33. Análisis de área foliar, conteo estomático para complementar los análisis de campo.*

En otras especies arbóreas, los puntos de saturación lumínica están asociados a valores superiores a  $500 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , siendo que el registro de FFF bajo dosel fue de  $215 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , es importante señalar los registros de fotosíntesis neta indican que la especie tiene plasticidad fotosintética, es decir que aún con condiciones de luz que se pudieran considerar bajas, la especie responde a estímulos de luz baja para la fijación de Carbono. Asimismo, las condiciones de humedad se asocian también a una eficiencia fotosintética, la cual está relacionada al propio proceso de

fotosíntesis, directamente vinculado con la fijación de fotones y el intercambio de gases.



*Figura 34. Determinación de intercambio de gases mediante sistema portátil al infrarrojo.*



Los valores promedio de asimilación neta de Carbono (Tabla 8) se obtuvieron mediante una integración de datos tomados a lo largo del día considerando el área foliar. Los resultados obtenidos fueron considerados en la asimilación neta máxima y mínima.

Tabla 8. Valores promedio de Asimilación Neta de CO<sub>2</sub>  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  CO<sub>2</sub> en las unidades de estudio.

Unidad de Producción	Asimilación Neta de CO <sub>2</sub> $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Asimilación Neta de CO <sub>2</sub> $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
	Mínimo	Máximo
Rancho 1	3.06	31.43
Rancho 2	4.60	35.96

De los datos obtenidos del intercambio de gases se calculó la tasa de fijación de Carbono (Tabla 9).

Tabla 9. Valores promedio de Fijación Neta de CO<sub>2</sub>  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  CO<sub>2</sub> en las unidades de estudio.

Unidad de Producción	Asimilación de CO <sub>2</sub> $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ Por árbol
Rancho 1	197,200
Rancho 2	187,200

Al complementar las metodologías utilizadas, ISO 14064 y estudios ecofisiológicos de fijación de Carbono de la planta, fue posible obtener la Huella de Carbono por Kg de aguacate para cada rancho (Tabla 10).

Tabla 10. Huella de Carbono considerando la producción de 1 Kg de aguacate en Rancho 1 y Rancho 2.

Unidad de Producción	Huella de Carbono por Kg de aguacate Kg CO <sub>2</sub> eq/Kg de aguacate	Huella de Carbono por Kg de aguacate Kg CO <sub>2</sub> eq/Kg de aguacate considerando la fijación de CO <sub>2</sub>
Rancho 1	1.86*	-0.26
Rancho 2	3.75	1.72

\*El porcentaje de disminución de la Huella de Carbono para la producción de 1 Kg de aguacate en Rancho 1 fue del 50% con relación a Rancho 2, lo cual se asocia a que en la unidad de producción de Rancho 1 aprovechan el declive y el horario nocturno de aplicación de riego, además de la implementación de control biológico, entre otros factores. En relación a esto, podemos mencionar que además de las recomendaciones que se puedan hacer para disminuir la Huella de Carbono, es importante ampliar los estudios a otros factores que pudieran estar asociados al sistema de producción.

En este contexto, consideramos que acciones como favorecer convenios de acompañamiento de certificación nacional con las certificadoras internacionales con la finalidad de implementar un modelo jalisciense de posicionamiento de producción sustentable es posible, dentro de un marco regulatorio ambiental.

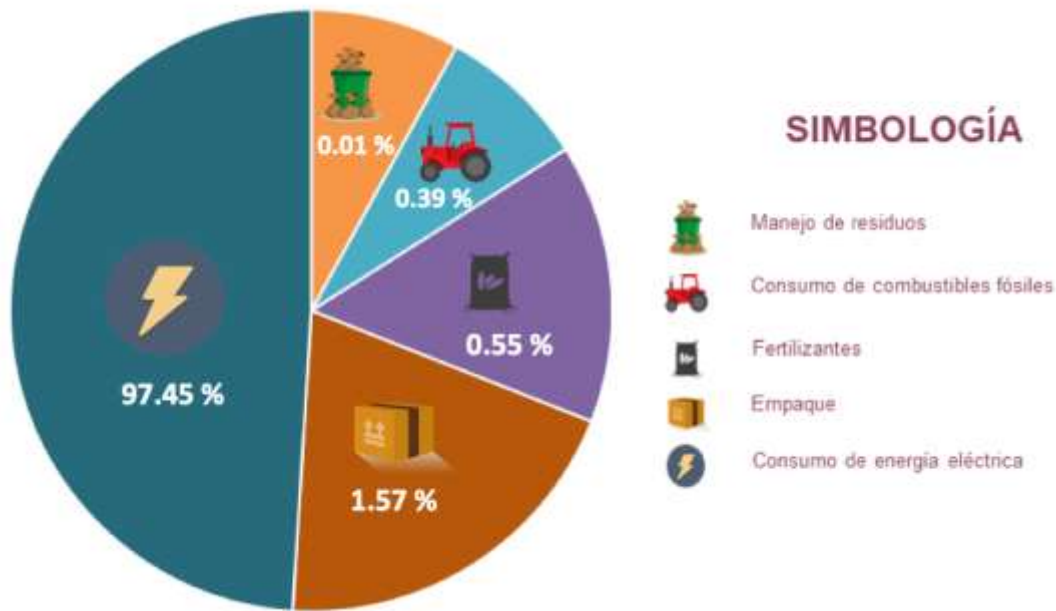








Figura 35. Promedio de Huella de Carbono de las dos unidades de producción por rubro.

### Recomendaciones hacia la disminución de la Huella de Carbono en la unidad de producción

Como resultado del presente proyecto se realiza una serie de recomendaciones para conducir a una Huella de Carbono neutra en la unidad de producción de aguacate en el estado de Jalisco. Las medidas sugeridas, además de las implementaciones técnicas, de manejo y consumo de energía en los diferentes rubros presentados en el Cuadro son parte de la estrategia de consolidar la unidad de producción de aguacate como un sistema sustentable y que sea un modelo para la producción de alimento de bajo impacto ambiental.

*Tabla 11. Recomendaciones para la reducción de la Huella de Carbono en la unidad de producción de aguacate en Jalisco.*

Rubros	Acción	Descripción detallada de la acción
<p>CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES</p> 	<p>Reducción en el consumo de combustibles</p>	<p>Cambio de vehículos con motor de combustión híbrida.</p>
<p>CONSUMO DE ENERGÍA ELECTRICA</p> 	<p>Transición energética</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Uso de energía alternativa por ejemplo paneles solares fotovoltaicos.</li> <li>2. Cambio de lámparas LED para la mejora del alumbrado en la unidad de producción agrícola en las instalaciones.</li> <li>3. Instalación de sensores de movimiento.</li> <li>4. Activación del sistema de riego durante la noche para el uso eficiente de agua y energía.</li> <li>5. Aprovechar la pendiente del terreno para disminución de la energía eléctrica por el bombeo de agua.</li> <li>6. Sistema de captación de agua de lluvia, para reducir el consumo de energía eléctrica por bombeo para extracción de agua.</li> </ol>

<p>FERTILIZANTES</p> 	<p>Uso de alternativas de fertilizantes orgánicos</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Implementación de biofertilizantes, como por ejemplo composta, lixiviados de composta, biochar, hidrogeles.</li> <li>2. Planificación de fertilización específica para los requerimientos de nutrientes acorde a la fenología y análisis de suelo.</li> </ol>
<p>MANEJO DE RESIDUOS</p> 	<p>Transformación de residuos</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Transformación de los residuos de restos alimenticios y poda en biochar.</li> <li>2. Valorización de los residuos de cartón.</li> </ol>
<p>EMPAQUE</p> 	<p>Utilizar material de reciclado para el empaque del producto</p>	<p>Preferenciar y aumentar el porcentaje de uso de material reciclado como cartón, plástico y papel para el empaque del producto.</p>
<p>CAPACITACIÓN</p> 	<p>Implementar cursos de capacitación en reducción de Huella de Carbono</p>	<p>Cursos y talleres de capacitación en reducción de Huella de Carbono a través de la formación en temas de uso eficiente de fertilizantes, optimización de recursos, uso eficiente del agua, energías alternativas, control biológico, entre otros.</p>

## REFORESTACIÓN



Implementar zonas de reforestación

Implementar zonas de amortiguamiento dentro y fuera de las zonas de producción con especies nativas de la región.

