

Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 1 de 36

Fecha del informe: 30/06/2023

Denominación de referencia: Huella de carbono del maíz de Argentina

Solicitante:

MAIZAR ASOCIACIÓN MAÍZ Y SORGO ARGENTINO

Bouchard 468 3° E
CP 1106, C.A.B.A., Argentina

Servicio/s tecnológicos requerido/s: huella de carbono

- **Objetivo/s:** Estimar la huella de carbono del maíz de Argentina.
- **Alcance:** los datos relevados corresponden a la campaña agrícola 2021-2022, para las 16 regiones geográficas productoras de maíz de la Argentina.

Nombre y dirección de la UO responsable del informe:

DEPTO. de Química Analítica y Residuos Urbanos Centro

Dirección Técnica Occidental
Subgerencia Operativa Región Centro
gestioncba@inti.gob.ar
Avenida Vélez Sarsfield 1561
X5000JKC, Córdoba
Córdoba, Argentina

Agentes participantes:

Ing. Leticia Tuninetti - DEPTO de Química Analítica y Residuos Urbanos Centro. Dirección Técnica Occidental.
Subgerencia Operativa Región Centro.
Ing. Rodolfo Bongiovanni – Estación Experimental Agropecuaria Manfredi, INTA.

Período informado: 2021-2022

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 2 de 36

Índice

1. Descripción del servicio tecnológico prestado.....	4
2. Metodología empleada.....	5
2.1. Objetivos.....	5
2.2. Unidad declarada.....	5
2.3. Normas y guías utilizadas.....	6
2.4. Alcance	6
2.5. Asignación de cargas	7
3. Cadena del maíz. Producción primaria.....	7
3.1. Datos planteos técnicos y producción	7
4. Trabajos realizados	13
4.1. Perfiles unitarios	15
4.2. Emisiones por fertilización y residuos de cosecha	16
4.3. Combustibles y lubricantes.....	16
4.4. Agroquímicos y fertilizantes.....	16
4.5. Transportes y puerto.....	17
4.6. Remoción de GEI o secuestro de carbono.....	17
5. Resultados.....	19
6. Discusión.....	25
6.1. Comparación con otros estudios de Argentina	25
6.2. Comparación con otros estudios del mundo	27
7. Conclusiones.....	30
8. Observaciones.....	31
9. Referencias.....	32

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



www.inti.gob.ar | consultas@inti.gob.ar | 0800 444 4004

Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 3 de 36

Síntesis

La huella de carbono de un producto, como el maíz, representa la suma de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y remociones de GEI en un sistema de producción, expresadas como dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) y basadas en una evaluación de ciclo de vida, utilizando la categoría de impacto única de cambio climático (IRAM-ISO 14067, 2019). Es la medida de uno de los impactos que provocan las actividades del hombre sobre el ambiente.

El objetivo general de este estudio fue calcular la huella de carbono del maíz producido en Argentina, cuantificando las emisiones y remociones significativas de GEI durante el ciclo de vida del cultivo, desde la extracción de materiales para la producción de insumos, hasta la obtención del producto entregado en el puerto de exportación. Las unidad declarada es 1 kg de maíz en la tranquera del campo. Se consideraron los planteos productivos relevados por la Bolsa de Cereales de Buenos Aires en su sistema “Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada” (ReTAA, 2023). Esto incluye dos fechas de siembra (temprano y tardío) y tres niveles tecnológicos (alto, mediano y bajo) dentro de cada una de las dieciséis zonas agroeconómicas productoras de maíz, en la campaña 2021-2022, en la que se produjeron 51.336.000 toneladas en 7.440.000 hectáreas (Bolsa de Cereales, 2023).

Los resultados muestran que la huella de carbono promedio nacional es de **1.248 kg CO₂eq por hectárea cosechada** y de **0,178 kg de CO₂eq por kg de maíz** en la puerta del campo.

En un análisis de sensibilidad, cuando se tuvieron en cuenta las remociones de GEI por efecto de la siembra directa, los valores cayeron un 12% y fueron de 1.099 kg CO₂eq/ha y 0,157 kg CO₂eq/kg, respectivamente. Y al considerar las remociones por siembra directa y por cultivos de servicio, las huellas se redujeron en 2 kg CO₂eq/kg adicionales a nivel de hectárea, resultando en 1.097 kg CO₂eq/ha y 0,156 kg CO₂eq/kg. La huella fue un 3% más baja en el maíz tardío que en el temprano, aunque al tener en cuenta las remociones, esa relación se invirtió y determinó un resultado un 1% más bajo a favor del temprano. Al considerar el traslado y manipulación del grano desde el campo hasta el puerto, incluyendo la carga a un buque, **condición FOB**, las emisiones en la puerta del campo subieron un 15% con respecto a la situación base, llegando a **0,204 kg de CO₂eq por kg**.

Este trabajo resulta de utilidad a los actores de la cadena de valor del maíz, porque: (a) brinda una visión ambiental integral de la producción primaria, mostrando qué etapas del ciclo de producción son las de mayor impacto (puntos críticos); (b) permite comunicar la información ambiental de un producto relevante a la sociedad y al mundo; (c) muestra posibles reducciones de emisiones y de costos a través del uso más eficiente de recursos energéticos y materiales; (d) propone argumentos y herramientas para la revalorización de subproductos y desechos a través de la economía circular; y (e) permite comparaciones entre insumos, procesos, tecnologías, métodos de transporte, como así también entre productos similares, de otras cadenas. La HC reviste importancia para la cadena de valor global del maíz porque los productos son comercializados mundialmente y las nuevas generaciones de consumidores comienzan a exigir información sobre métodos de producción sostenible

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



www.inti.gob.ar | consultas@inti.gob.ar | 0800 444 4004

Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 4 de 36

1. Descripción del servicio tecnológico prestado

Marco conceptual

La **Huella de Carbono** (HC) representa la totalidad de Gases de Efecto Invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto. De acuerdo a la norma ISO 14067, la huella de carbono de un producto es la “suma de emisiones de GEI y remociones de GEI en un sistema producto, expresadas como CO₂ equivalente y basadas en un ACV, utilizando la categoría de impacto única de **cambio climático**” (IRAM-ISO 14067, 2019). Es la medida de uno solo de los impactos que provocan las actividades del hombre sobre el ambiente.

El **Análisis de Ciclo de Vida** (ACV) es una metodología que comprende el estudio de diversos impactos ambientales causados por un producto a lo largo de todas las etapas de su ciclo de vida: desde la extracción o producción de las materias primas, hasta la disposición final, pasando por etapas de transformación, empaque, transporte, distribución, consumo y postconsumo. Entre los impactos que se estudian están la huella de carbono, la huella hídrica y también otros como eutrofización, acidificación, agotamiento de recursos escasos y uso de energía.

Por otra parte, el **Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático** (IPCC) es el órgano internacional encargado de evaluar los conocimientos científicos relativos al cambio climático. Fue establecido en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) para facilitar a las instancias normativas evaluaciones periódicas sobre la base científica del cambio climático, sus repercusiones y futuros riesgos, así como las opciones que existen para adaptarse al mismo y atenuar sus efectos. Por su carácter científico e intergubernamental, el IPCC facilita información científica rigurosa y equilibrada para las instancias normativas, ya que numerosos científicos participan con carácter voluntario como expertos, para complementar los conocimientos especializados en temáticas específicas.

El **cambio climático** es una “variación persistente del clima atribuida, directa o indirectamente, a la actividad humana durante periodos de tiempo comparables, adicionalmente a la variabilidad climática natural, observada por cambios del equilibrio entre la energía solar entrante y la energía remitida por el planeta Tierra hacia el espacio. El cambio climático se debe principalmente al aumento de la concentración atmosférica de GEI, por encima de los valores naturales. La generación de energía, la quema de combustibles fósiles, la generación de residuos sólidos, la agricultura, la ganadería y la deforestación, entre otras actividades antropogénicas, contribuyen al aumento de las emisiones de GEI, incrementando así el efecto invernadero y causando el cambio climático” (Dirección Nacional de Cambio Climático, 2023).

El **efecto invernadero** es un proceso natural por el cual los gases que están presentes en la atmósfera retienen la radiación que la Tierra refleja al espacio. Esta emisión de la Tierra es producto del calentamiento de su superficie por la incidencia de la radiación solar. Así, el efecto invernadero hace que la temperatura media de la Tierra sea mayor que si este proceso no ocurriera. La superficie terrestre, los océanos y los hielos son calentados directamente por el Sol, absorbiendo gran parte de la energía recibida. Una fracción de la misma es devuelta hacia la atmósfera en forma de energía infrarroja, siendo retenida momentáneamente por el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (NO₂), entre otros. Los gases que tienen esta propiedad de retener la energía se denominan GEI. Si bien el vapor de agua se encuentra presente en la atmósfera y realiza una contribución importante al efecto invernadero, no se considera como GEI, ya que su concentración no varía por las actividades antrópicas.

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 5 de 36

El **potencial de calentamiento global** (PCG) es una medida de la capacidad que tienen los diferentes GEI de retener el calor en la atmósfera, ya que no todos los gases absorben la radiación infrarroja de la misma manera, ni todos tienen igual vida media en la atmósfera. El gas utilizado como referencia para medir otros GEI es el CO₂, por lo que su potencial de calentamiento global es igual a 1. Cuanto más alto sea el PCG que tiene un gas, mayor será su capacidad de retención de calor en la atmósfera. La Tabla 1 muestra el potencial de calentamiento global de los GEI más comúnmente emitidos.

Tabla 1. Potencial de calentamiento global de los GEI.

Gas de efecto Invernadero (GEI)	Fuente emisora	Potencial de calentamiento Global
Dióxido de carbono	Quema de combustibles fósiles, cambios en el uso del suelo, producción de cemento.	1
Metano	Quema de combustibles fósiles, agricultura, ganadería, manejo de residuos	29,8
Óxido nitroso	Quema de combustibles fósiles, agricultura, ganadería, cambios en el uso de la tierra	273
Perfluoro carbonos	Producción de aluminio, solventes y productos contra incendios.	6.500-9.200
Hidrofluoro carbonos	Refrigeración y aire acondicionado, productos contra incendios	140-11.700
Hexafluoruro de azufre	Aislantes térmicos	25.200

2. Metodología empleada

2.1. Objetivos

El objetivo general de este trabajo fue determinar la huella de carbono del maíz producido en Argentina, considerando 16 regiones geográficas diferentes de producción y 3 niveles de adopción de tecnología en cada una de ellas.

Se buscó conocer los puntos críticos o *hotspots*, apuntando a la mejora continua de los procesos productivos a través de mejoras tecnológicas, orientadas hacia la sostenibilidad.

2.2. Unidad declarada

La unidad declarada de este estudio fue:

- **Un kilogramo de maíz en la tranquera del campo.**

También se analizan resultados para 1 hectárea de producción y para 1 kilogramo de maíz puesto en el puerto de exportación, condición FOB.

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 6 de 36

2.3. Normas y guías utilizadas

El principal estándar utilizado para el análisis de ciclo de vida fue la norma ISO 14040, que contiene principios y directrices para el cálculo de impactos ambientales de productos. También se usó la norma ISO 14067, que contiene principios y directrices para el cálculo de huella de carbono en productos (IRAM-ISO 14067, 2019).

Desde lo institucional, se sigue el Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra: (2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use) (IPCC, 2019). De igual modo, se siguió el Capítulo 11 Emisiones de N₂O de suelos gestionados y emisiones de CO₂ de la aplicación de cal y urea: (*N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application*), para las emisiones derivadas del uso de fertilizantes nitrogenados y las ocasionadas por los residuos de cosecha (aéreos y subterráneos).

2.4. Alcance

El **alcance** del análisis abarcó “**desde la cuna hasta la puerta**” es decir desde la producción de todas las materias primas, insumos y energía usados en la producción de maíz, incluyendo las emisiones *in-situ* que son las emisiones derivadas de la aplicación de fertilizantes nitrogenados y por la descomposición de residuos aéreos y subterráneos. El sistema se delimitó en términos temporales para la campaña 2021-2022.

Se incluyeron todas las labores del campo, la producción de insumos (semillas, agroquímicos, fertilizantes, combustibles, entre otros), las emisiones derivadas de la quema de combustibles, de la aplicación de fertilizantes y las originadas en los residuos de cosecha. Se incluyó el transporte del grano hasta el puerto de exportación, como así también la manipulación y el almacenamiento de granos hasta llegar a la bodega del barco.

Para el cálculo de las emisiones se siguió el nivel 2 (TIER 2) del método IPCC. Se calcularon sus propias emisiones para el cultivo en cada región y para cada nivel tecnológico adoptado, con factores de emisión específicos del país tomados de los Informes Bienales de Actualización de Argentina (SAyDS, 2019). El nivel 2 usa datos de actividad desagregados.

La información primaria recolectada fue complementada con información bibliográfica y de base de datos¹ utilizadas por el INTA y el INTI.

Tal como lo indica la norma ISO 14067, este estudio incluyó una estimación por separado de la remoción de carbono del sistema productivo, que puede ocurrir en el suelo, pasturas y en el bosque nativo, con el método de nivel básico (TIER 1 IPCC).

No se incluyeron en el cálculo los siguientes elementos y eslabones de la cadena de valor:

¹ Ecoinvent es una de las más extensas y más consistentes bases de datos internacionales. De origen suizo es compatible con estudios y evaluaciones, basada en las normas ISO 14040: Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Cuenta con más de 12.800 conjuntos de datos en las áreas de suministro de energía, agricultura, transporte, biocombustibles y biomateriales, productos químicos, materiales de construcción, envases, metales, lechería, madera y tratamiento de residuos entre otros. <https://www.ecoinvent.org/>

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 7 de 36

- a) Emisiones debidas al cambio de uso del suelo, ya que se asumió que la producción de maíz se desarrolló en superficies que se encuentran en uso agrícola desde hace más de 20 años y que, por lo tanto, no hubo cambio de uso de suelo.
- b) Impacto por la construcción y fabricación de infraestructura, equipos, máquinas y espacios de usos comunes ya que, por su extensa vida útil, la participación fue poco significativa con respecto al volumen de producción.
- c) Consumos de energía para el traslado de personal, alumbrado de oficinas, talleres, etc.
- d) Fabricación de los envases de agroquímicos, ni su traslado hasta el campo.
- e) Recorridos del personal técnico para asesoramiento.
- f) Traslado y disposición final de los envases de agroquímicos, debido a que se asumió que fueron reciclados.
- g) Transporte de los insumos desde las plantas de producción hasta el campo.
- h) Lubricantes usados en maquinarias agrícolas e industriales.
- i) Emisiones de residuos de cosecha de los cultivos de cobertura.

2.5. Asignación de cargas

La asignación de cargas ambientales es un paso obligatorio en el cálculo de las huellas ambientales de un producto basado en la metodología de análisis de ciclo de vida, siempre que existen otros subproductos; además, del objeto de estudio. "Consiste en dividir los flujos de entrada o salida de un proceso o un sistema de productos entre el sistema de productos en estudio y uno o más de otros sistemas de productos" (ISO 14044: 2006).

La asignación se realiza definiendo el "valor" (no necesariamente monetario) del producto y de los subproductos, ya sea por su masa, su contenido energético, su precio de venta u otro método que resulte apropiado, de acuerdo con el tipo de proceso.

Para este caso de estudio, no se requirió la realización de una asignación de cargas ambientales, debido a que el producto cosechado es único.

3. Cadena del maíz. Producción primaria.

En el mundo, se produjeron 1.210.445.259 t de maíz en el 2021, siendo EE.UU., China, Brasil, Argentina y Ucrania los 5 principales productores (FAOSTAT, 2023). En Argentina, el maíz es el primer cultivo en orden de importancia, en cuanto a volumen de producción, con 43.861.066 t, seguido por la soja. Sin embargo, se ubica en segundo lugar de superficie cosechada, después de la soja, con 15.874.266 ha en la campaña 2021-2022. Por su parte, Córdoba sembró el 34%, Buenos Aires el 26%, Santa Fe el 13%, Entre Ríos el 6% y La Pampa el 4% (MAGyP, 2023).

3.1. Datos planteos técnicos y producción

Para la producción nacional de maíz analizada en este trabajo, se consideraron los planteos productivos relevados por la Bolsa de Cereales de Buenos Aires en su sistema "Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada" (ReTAA, 2023). Esto incluyó dos fechas de siembra (46% temprano y 54% tardío) y 3 niveles tecnológicos (alto, mediano y

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 8 de 36

bajo). El ReTAA relevó 16 zonas agroeconómicas productoras de maíz (figura 1), en la campaña 2021-2022, en la que se produjeron 51.336.000 toneladas en 7.440.000 hectáreas. La Tabla 2 muestra las principales estadísticas de producción del maíz en la campaña 2021-2022 (Bolsa de Cereales, 2023).

Tabla 2: Estadísticas de producción del maíz en la campaña 2021-2022.

Zona	Superficie cosechada total (ha)	Superficie cosechada temprano (ha)	Superficie cosechada tardío (ha)	Rendimiento (t/ha)	Producción (t)	Distribución de superficie (%)	
						Maíz Temprano	Maíz Tardío
I	460.000	460.000	0	6,50	2.990.000	100%	0%
Ile	796.000	796.000	0	6,90	5.492.400	100%	0%
Ilo	19.300	19.300	0	4,2	81.060	100%	0%
III	1.085.000	75.950	1.009.050	7,40	8.029.000	7%	93%
IV	927.000	74.160	852.840	7,50	6.952.500	8%	92%
Vn	288.000	20.160	267.840	5,90	1.699.200	7%	93%
Vc	19.300	10.422	8.878	4,2	81.060	54%	46%
VI	723.000	614.550	108.450	7,20	5.205.600	85%	15%
VII	578.000	497.080	80.920	6,80	3.930.400	86%	14%
VIII	365.000	138.700	226.300	5,20	1.898.000	38%	62%
IX	817.000	285.950	531.050	7,80	6.372.600	35%	65%
X	386.000	154.400	231.600	7,20	2.779.200	40%	60%
XI	192.100	86.445	105.655	5,80	1.114.180	45%	55%
XII	292.300	131.535	160.765	6,60	1.929.180	45%	55%
XIII	352.000	24.640	327.360	6,20	2.182.400	7%	93%
XIV	140.000	63.000	77.000	7,40	1.036.000	45%	55%
TOTAL	7.440.000	3.452.292	3.987.708	6,90	51.336.000	48%	52%

(Bolsa de Cereales, 2023)

La figura 1 muestra la distribución geográfica de las 16 zonas identificadas, dentro de Argentina.

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



www.inti.gob.ar | consultas@inti.gob.ar | 0800 444 4004

Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 9 de 36

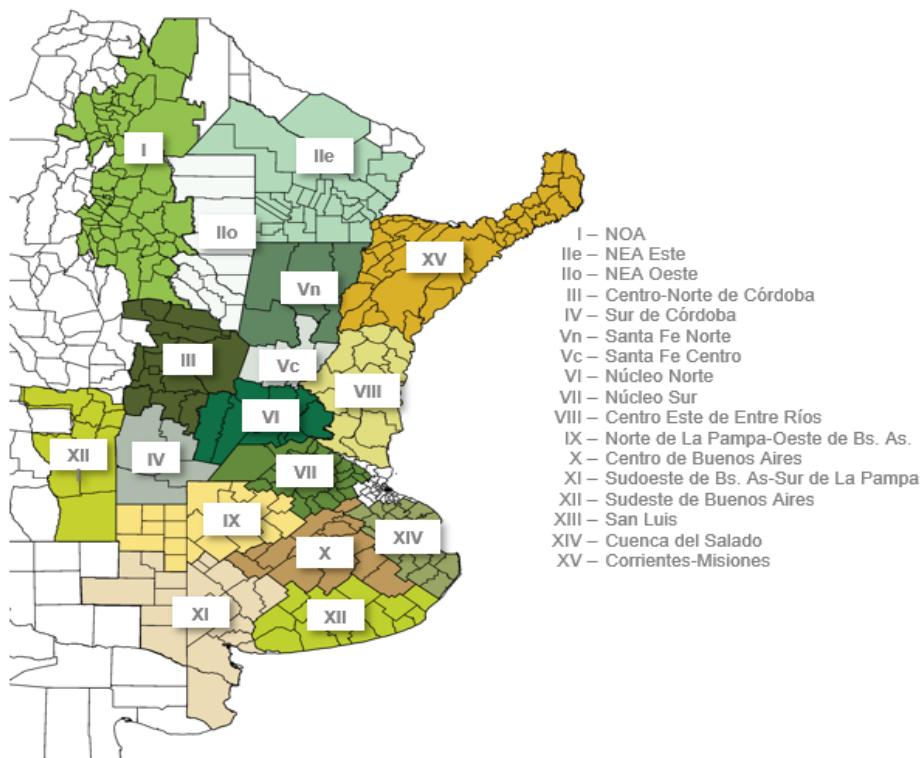


Figura 1: Zonas productoras de maíz

La información se obtuvo mediante encuestas telefónicas a Informantes Calificados (IC) para cada una de las zonas relevadas, realizadas por personal idóneo y capacitado en cuanto a los criterios y consideraciones generales del sistema de relevamiento. Las encuestas se efectuaron de forma telefónica, estructuradas en base a una muestra no probabilística, mediante un muestreo deliberado y estratégico de cada zona para lograr cubrir de forma eficiente el área agrícola que se consideró en el análisis.

El maíz tuvo una encuesta propia que consideró diversas variables de medición enmarcadas dentro de siete grandes rubros, que a la vez distingue entre niveles tecnológicos. Es decir, la encuesta de un cultivo identificó un planteo representativo para cada nivel de tecnología. Los rubros fueron: siembra, materiales de siembra, fertilización, herbicidas, insecticidas, fungicidas y tratamiento de semilla.

Para identificar el concepto de Nivel Tecnológico (NT) se utilizó la denominación introducida originalmente por el INTA en el año 1992. Se consideró que el Nivel Tecnológico se refiere a un concepto amplio, que incluye tanto el nivel de utilización de insumos, como las prácticas de manejo empleadas en cada cultivo para cada zona del país. Cabe resaltar que esta clasificación tecnológica es propia de cada cultivo y es relativa a cada zona.

En la campaña 2021-2022, el maíz temprano se produjo el 49% con nivel tecnológico alto, 48% mediano y 3% bajo; mientras que los niveles fueron 39% alto, 59% medio y 3% bajo en el maíz tardío. A su vez, el 90% de la siembra se hizo con siembra directa en el maíz temprano y 92% en el maíz tardío.

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 10 de 36

Los consumos de combustible para las labores agrícolas se tomaron de INTA (Donato, 2020), del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Boto Fidalgo, Pastrana Santamarta, & Suárez de Cepeda Martínez, 2005) y de publicaciones agroeconómicas (Márgenes Agropecuarios, 2023). Los valores se consensuaron con los referentes técnicos de Maizar y el consumo estimado fue de 6,55 L/ha de gasoil para la siembra directa, 18,76 L/ha para todas las operaciones de la siembra convencional, 0,66 L/ha para la pulverización terrestre, 1,32 L/ha de combustible aéreo para la pulverización aérea, 5,24 L/ha para la fertilización y 12,87 para todo el proceso de cosecha de maíz.

Se encontraron grandes variaciones zonales en la cantidad y tipo de aplicaciones de agroquímicos, probablemente debido a diferencias ambientales, disparidad de criterios agronómicos. Las emisiones de GEI para la fabricación y logística de los insumos (perfiles ambientales) se obtuvieron de la base de datos Ecoinvent (2023).

Se detectaron diferencias en las dosis de fertilizantes por región, nivel tecnológico y fecha de siembra. Las emisiones directas por su uso, se modelaron en base a los contenidos de nitrógeno como elemento esencial (N). La tabla 3 muestra la dosis aplicada de nitrógeno en las distintas regiones y el rendimiento obtenido.

Tabla 3: Regiones productoras, rendimiento y dosis de N

kg CO ₂ eq/ha	Temprano		Tardío	
	Rendimiento (kg/ha)	N (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)	N (kg/ha)
Argentina	7.058	71,00	6.985	65,16
I	6.246	23,92	0	0
Ile	6.868	19,51	0	0
Ilo	8.230	46,88	0	0
III	6.159	69,78	7.965	62,00
IV	6.520	68,63	7.130	58,78
Vc	5.131	74,02	6.575	70,95
Vn	4.540	37,70	6.344	33,99
VI	8.050	116,57	6.796	97,95
VII	7.636	120,34	7.651	104,59
VIII	3.620	88,69	5.744	78,05
IX	9.041	95,04	7.820	88,65
X	7.712	87,29	6.784	75,14
XI	6.283	59,53	5.428	53,84
XII	5.228	78,90	6.530	72,08
XIII	3.442	38,49	4.198	41,36
XIV	6.905	77,59	7.785	69,80

Teniendo en cuenta la participación de cada región en el total nacional, se obtuvo que el promedio general de aplicación de fertilizantes en Argentina fue de 67,8 kg/ha de nitrógeno (N), lo que puede verse en la tabla 4.

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 11 de 36

Tabla 4: Productos fertilizantes aplicados, según promedios regionales y fecha de siembra

Producto		Temprano 46%	Tardío 54%	% N producto	kg N/ha
Mezcla arrancadora	kg N/ha	0,86	1,10	0,124	0,99
Mezcla nitrocomplex	kg N/ha	0,15	0,39	0,21	0,28
Mezcla Nitrodoble	kg N/ha	0,71	0,97	0,27	0,85
Microessentials	kg N/ha	0,47	0,79	0,12	0,64
Nitrato de amonio	kg/ha	0,05	0,60	0,3375	0,12
PDA	kg/ha	7,47	12,37	0,195	1,97
PMA	kg/ha	40,79	32,51	0,11	4,00
PMA azufrado	kg/ha	2,28	1,05	0,195	0,32
Solmix	kg/ha	15,95	15,04	0,412	6,37
SPS	kg/ha	2,55	1,83	0	0,00
SPT	kg/ha	0,41	1,27	0	0,00
Sulfato de calcio	kg/ha	0,94	0,08	0	0,00
UAN	kg/ha	5,27	7,97	0,3	2,01
Urea	kg/ha	117,95	102,00	0,46	50,32
TOTAL					67,87

De todos modos y como se puede ver en la Figura 2, no se pudo demostrar que exista fuerte una relación global entre la dosis de N y los rendimientos. La función cuadrática entre rendimientos y nitrógeno no es significativa ($R^2 < 5\%$). Esto es debido a múltiples factores que explican los resultados en cada zona de producción (Bolsa de Cereales, 2023).

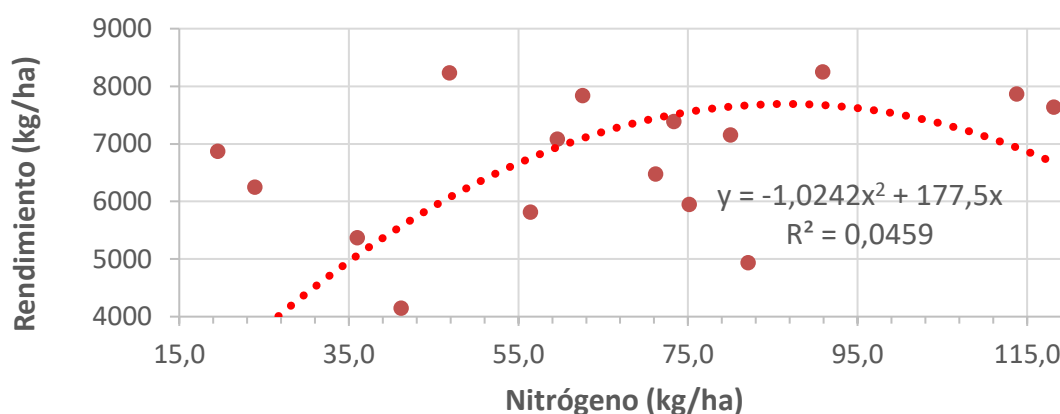


Figura 2: Relación entre rendimientos y dosis de N

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 12 de 36

Por el contrario, la figura 3 muestra que existe una alta correlación ($R^2=93\%$), entre las emisiones por ha y la dosis de N (kg/ha).

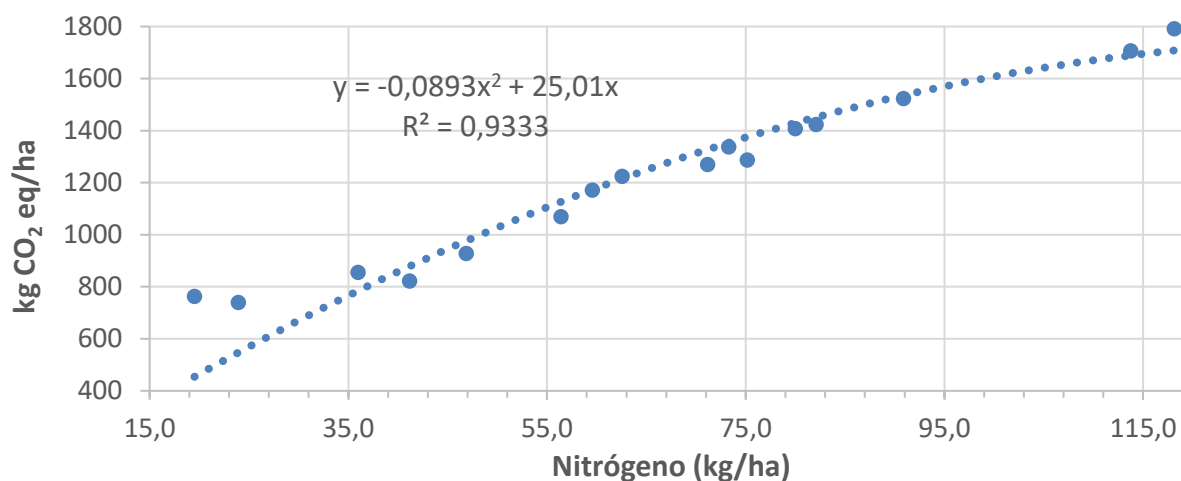


Figura 3: Relación emisiones por ha y dosis N (kg/ha)

Sin embargo, no se pudo corroborar la hipótesis de Nemecek y otros (2012) sobre una relación directa entre mayores huellas de carbono y mayores rendimientos, ya que, en nuestro estudio, la relación no es significativa ($R^2=19\%$).

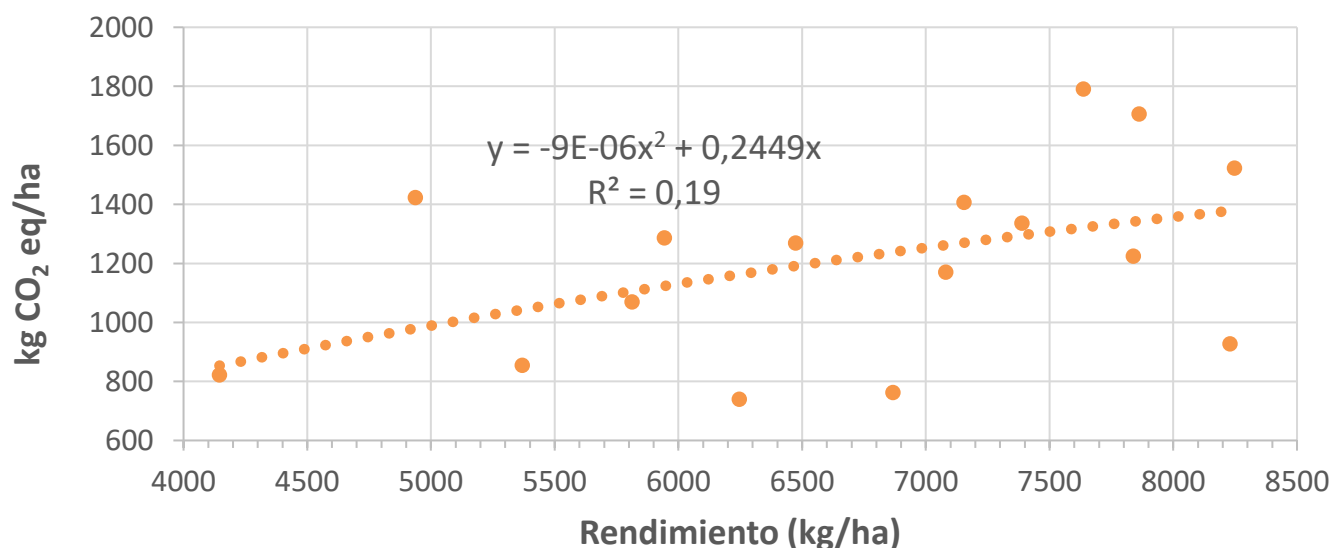


Figura 4: Relación emisiones por ha y rendimiento (kg/ha)

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 13 de 36

La información de existencia de carbono inicial por Partido o Departamento fue provista por el Dr. Marcos Angelini, de INTA Castelar, a partir del “Global Soil Organic Carbon Map V1.5”: Technical report. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca7597en>. El stock inicial de carbono orgánico del suelo (SOC) se promedió para cada departamento y para cada zona agroeconómica (Tabla 5) (FAO & ITPS, 2020). Por otro lado, los datos de precipitaciones fueron provistos por el Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica (SIGA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), para cada uno de los departamentos correspondientes a la campaña 2021-2022 y se promediaron por zonas (Tabla 5).

Tabla 5: Stock inicial de carbono orgánico del suelo promedio (t/ha) y precipitaciones anuales promedio en la campaña 2021-2022.

Zona	Stock C inicial promedio (t/ha)	Precipitaciones anuales promedio (mm)
I	51,36	635
Ile	58,56	1029
Ilo	45,13	572
III	47,82	455
IV	40,47	750
IX	50,56	805
Vc	55,69	439
Vn	54,39	700
VI	54,60	730
VII	62,74	777
VIII	69,64	1031
X	68,42	807
XI	51,46	944
XII	81,55	689
XIII	33,93	727
XIV	81,93	492

4. Trabajos realizados

Este trabajo sigue el protocolo de la norma ISO 14067, que define la Huella de Carbono de un producto como: “la suma de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y remociones de GEI en un sistema de producción, expresadas como dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) y basadas en una evaluación de ciclo de vida, utilizando la categoría de impacto única de cambio climático, expresado como CO₂ equivalente y basado en un Análisis de Ciclo de Vida (ACV)” (IRAM-ISO 14067, 2019). El modelo de cálculo de emisiones sigue las Guías del IPCC para las emisiones derivadas del uso de fertilizantes nitrogenados y las ocasionadas por los residuos de cosecha (aéreos y subterráneos) del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2019).

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 14 de 36

Un componente fundamental del ACV para calcular la Huella de Carbono es el Inventario ambiental, que consiste en una cuantificación de los ingresos al sistema (energía e insumos materiales), y de las emisiones al ambiente relacionadas con la creación del producto y su uso, es decir, todas las salidas (productos, subproductos, residuos, emisiones). A continuación, se muestra en la tabla 6 un resumen del inventario ambiental construido, como promedio ponderado de las 16 regiones geográficas y de las producciones de maíz temprano y tardío.

Tabla 6: Inventario ambiental de la producción de maíz en Argentina.

Insumo/Actividad	Perfil adoptado	Unidad	Cantidad
Siembra			
Siembra Directa	Diesel (litros)	litros/ha	5,97
Siembra Convencional	Diesel (litros)	litros/ha	1,68
Densidad de siembra	Semilla maíz	kg/ha	12,32
Fertilización			
Mezcla arrancadora	Fertilizante nitrog, N	kg N/ha	0,99
Mezcla nitrocomplex	Fertilizante nitrog, N	kg N/ha	0,28
Mezcla Nitrodoble	Fertilizante nitrog, N	kg N/ha	0,85
Microessentials	Fertilizante nitrog, N	kg N/ha	0,64
Nitrato de amonio	Nitrato de amonio	kg/ha	0,35
PDA	Fosfato diamónico	kg/ha	10,10
PMA	Fosfato monoamónico	kg/ha	36,35
PMA azufrado	Fosfato monoamónico	kg/ha	1,62
Solmix	Solmix	kg/ha	15,46
SPS	Superfosfato simple	kg/ha	2,17
SPT	Superfosfato triple	kg/ha	0,87
Sulfato de calcio	Sulfato de calcio	kg/ha	0,48
UAN	UAN	kg/ha	6,72
Urea	Urea	kg/ha	109,40
Fertilización	Diesel (litros)	litros/ha	5,19
Herbicidas			
2-4D	2,4 D	kg/ha	0,72
Acetoclor	Metolachlor	kg/ha	0,73
Atrazina	Atrazina	kg/ha	1,31
Dicamba	Dicamba	kg/ha	0,09
Dicloruro de paraquat	Paraquat	kg/ha	0,05
Flumioxazin	Herbicida	kg/ha	0,12
Glifosato (48%) - cultivo	Glifosato	kg/ha	0,38
Glifosato 48% - Barbecho	Glifosato	kg/ha	2,22
Glifosato concentrado - Barbecho	Glifosato	kg/ha	2,65

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 15 de 36

Glifosato concentrado - cultivo	Glifosato	kg/ha	1,68
Glufosinato de amonio	Herbicida	kg/ha	0,12
Graminicida FOP	Herbicida	kg/ha	0,03
Imazapir + Imazetapir (CL)	Herbicida	kg/ha	0,00
Isoxaflutole +Tiencarbazone+Metil	Herbicida	kg/ha	0,11
Metolaclor	Metolachlor	kg/ha	0,98
Nicosulfurón	Herbicida	kg/ha	0,00
Piclorám	Herbicida	kg/ha	0,02
Saflufenacil	Herbicida	kg/ha	0,00
Topramezone	Herbicida	kg/ha	0,04
Triquetona + S-metolacloro	Metolachlor	kg/ha	0,68
Pulverización terrestre	Diesel (litros)	litros/ha	1,83
Insecticidas			
Cipermetrina	Pyretroides	kg/ha	0,00
Clorpirifós	Insecticida	kg/ha	0,01
Diamida + Avermectina	Dimetha	kg/ha	0,00
Diamida + Piretroide	Dimetha	kg/ha	0,02
Diamidas	Dimetha	kg/ha	0,02
IGRs	Insecticida	kg/ha	0,01
Lambdacialotrina	Insecticida	kg/ha	0,02
Piretroide + Neonicotinoide	Pyretroides	kg/ha	0,01
Pulverización terrestre	Diesel (litros)	litros/ha	0,70
Fungicidas			
Fungicida 1 (Estrob. + Triazol)	Triazine	kg/ha	0,03
Pulverización terrestre	Diesel (litros)	litros/ha	0,45
Cosecha			
Cosecha maíz	Diesel (litros)	litros/ha	12,84

4.1. Perfiles unitarios

Una vez armados los inventarios de entradas y salidas de cada región geográfica y de cada nivel tecnológico, se obtuvieron en bases de datos de uso internacional las emisiones unitarias asociadas a cada una de esas entradas: insumos, materias primas, energía, etc., referidas a 1 kg, 1 litro, 1 MJ o la unidad que corresponda. Los agroquímicos se contabilizaron por su contenido de principio activo y si no estaban disponibles de ese modo, se incluyeron por su grupo de pertenencia según su acción (herbicida, fungicida, insecticida). Como paso posterior, se asociaron las cantidades usadas de cada "entrada" a sus emisiones unitarias, obteniéndose el impacto para dichas cantidades.

El método utilizado para extraer desde la base de datos, los perfiles ambientales de todos los insumos del proceso productivo, es "IPCC GWP 2021".

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 16 de 36

Dichos perfiles se extrajeron desde la base de datos EcoInvent (2022), a la que se accede desde el software de cálculo SIMAPRO versión 9.3.9.3 (2022), disponible por INTA e INTI. Esta base posee información de más de 10.000 perfiles unitarios de materiales, insumos, energías, productos, transportes, operaciones industriales, entre otras, principalmente de Europa, Norte América, China y el resto del mundo, en menor medida. En el Anexo se muestran los perfiles ambientales unitarios seleccionados para este caso.

4.2. Emisiones por fertilización y residuos de cosecha

En el caso de los residuos de cosecha, se incluyeron las fuentes de emisiones directas para todas las regiones. Por otro lado, la fuente de emisión indirecta por lixiviación sólo se incluyó la región II este (Este de Chaco y Formosa) y la región VIII (Entre Ríos), ya que responden al criterio de precipitaciones requerido para su inclusión.

También se estimaron las emisiones de óxido nitroso por el aporte de fertilización nitrogenada *in situ*. Se incluye, en este último concepto, a las fuentes directas e indirectas por deposición atmosférica y lixiviación asociadas a la aplicación de fertilizantes sintéticos. Las directas e indirectas por deposición atmosférica se consideraron para todas las zonas geográficas, mientras que las indirectas por lixiviación sólo para las zonas II e y VIII.

De acuerdo a la información disponible en las guías del IPCC mencionadas, se utilizó un factor de emisión por gasificación específico por tipo de fertilizante nitrogenado aplicado, de acuerdo a los valores que muestra la tabla 11.3 de la mencionada guía. Para el caso de la urea se incluye, además, la emisión de CO₂ que ocurre como liberación del mismo gas que fue capturado durante la producción del fertilizante.

4.3. Combustibles y lubricantes

Se incluyeron las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) y demás gases de efecto invernadero asociadas a la quema de combustibles para las actividades de laboreo, como la preparación, siembra, cosecha y aplicación de fertilizantes y agroquímicos. Se adicionaron las emisiones generadas durante el ciclo de vida productivo, contemplando las etapas de extracción, refinado y transporte de los productos.

4.4. Agroquímicos y fertilizantes

Este punto refiere a las emisiones de GEI asociadas al ciclo de producción de los agroquímicos y fertilizantes aplicados durante la producción del cultivo de maíz. Para realizar la estimación se calcularon las cantidades de agroquímicos (expresados en kilogramos de principio activo) aplicados según los datos del sistema ReTAA. La información de principio activo fue tomada de las hojas de seguridad de los productos. Se incluyeron fungicidas, herbicidas, insecticidas y coadyuvantes. Para fertilizantes se consideraron las cantidades de elemento esencial: nitrógeno, fósforo y azufre asumiendo que se comercializan a granel.

Las cantidades asumidas son los totales aplicados, es decir contabilizando la cantidad total aplicada sobre la superficie total de hectáreas sembradas, incluyendo los productores que aplicaron y los que no aplicaron agroquímicos.

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 17 de 36

4.5. Transportes y puerto

Para la unidad declarada 1 kg de maíz en el puerto condición FOB, se calculó una distancia promedio ponderado de 202,4 km. Para ello se ponderaron los datos del puerto de Rosario (Rosario, San Lorenzo, Va Constitución) con 227 km y el 62% del total de maíz; Bahía Blanca con 175 km y 21% del maíz; Necochea con 92 km y 10% del maíz y Zárate, con 227 km y 7% del maíz.

Para la manipulación y el almacenamiento de granos hasta llegar a la bodega del barco se tuvo en cuenta que por cada camión que llega al puerto, se cumplieron en promedio estos pasos: a) Recepción del camión en la terminal, b) Calado y chequeo, c) Pesada, d) Descarga. e) Movimiento del grano desde la descarga a los silos, f) Aireación y control temperatura, g) Movimiento del grano desde el silo al elevador, h) Grúas, cintas/redlers del elevador y pescantes, i) Descarga al barco. Todo ese proceso completo insumió 0,9 kw/hora por tonelada, con un ritmo promedio de embarque por hora de 900 t de grano, en condiciones normales.

4.6. Remoción de GEI o secuestro de carbono

Si bien Argentina es el cuarto productor mundial de maíz (FAOSTAT, 2023), y a pesar de que es el segundo exportador mundial, representando el 9,3% de las exportaciones totales del país (INDEC, 2020), solo unos pocos estudios han evaluado las emisiones de GEI (Arrieta, Cuchietti, Cabrol, & González, 2018), pero *sin incluir una estimación del potencial de remoción de GEI, o secuestro de carbono*, como en este estudio.

Para estimar la remoción de GEI, en este trabajo se siguió el Nivel 1 (Tier 1) del IPCC, Revisión 2019 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Capítulo 2: Metodologías genéricas aplicables a múltiples categorías de uso de la tierra (IPCC, 2019). La ecuación que aplica es la 2.25: Cambio anual en las existencias de carbono orgánico en suelos minerales.

ECUACIÓN 2.25

CAMBIO ANUAL EN LAS EXISTENCIAS DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS MINERALES

$$\Delta C_{\text{Minerales}} = \frac{(SOC_0 - SOC_{(0-T)})}{D}$$

$$SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF_{c,s,i}} \cdot F_{LU_{c,s,i}} \cdot F_{MG_{c,s,i}} \cdot F_{I_{c,s,i}} \cdot A_{c,s,i})$$

(Nota: En esta ecuación, se utiliza T en lugar de D cuando T es ≥ 20 años, véase la nota al pie)

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



www.inti.gob.ar | consultas@inti.gob.ar | 0800 444 4004

Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 18 de 36

Donde:

$\Delta C_{\text{Minerales}}$ = cambio anual en las existencias de carbono de los suelos minerales, ton C año⁻¹

SOC_0 = existencias de carbono orgánico en el suelo en el último año de un período de inventario, ton C

$SOC_{(0-T)}$ = existencias de carbono orgánico en el suelo al comienzo de un período de inventario, ton C

SOC_0 y $SOC_{(0-T)}$ se calculan utilizando la ecuación del SOC del recuadro donde se asignan los factores de referencia para existencias y cambios de existencias de carbono según las actividades de uso y gestión de la tierra y las superficies respectivas en cada uno de los momentos (momento = 0 y momento = 0-T)

T = cantidad de años de un período de inventario dado, año

D = Dependencia temporal de los factores de cambio de existencias, que es el lapso por defecto para la transición entre los valores de equilibrio del SOC, año. Habitualmente 20 años, pero depende de las hipótesis que se apliquen en el cálculo de los factores F_{LU} , F_{MG} y F_I . Si T es mayor que D, úsese el valor de T para obtener la tasa anual de cambio durante el tiempo de inventario (0 – T años).

c = representa las zonas climáticas, s los tipos de suelo, e i el conjunto de sistemas de gestión que se dan en un país dado.

SOC_{REF} = las existencias de carbono de referencia, ton C ha⁻¹ (Cuadro 2.3)

F_{LU} = factor de cambio de existencias para sistemas de uso de la tierra o subsistemas de un uso de la tierra en particular, sin dimensión

[Nota: F_{ND} se sustituye por F_{LU} en el cálculo del C en suelos forestales para estimar la influencia de los regímenes de perturbaciones naturales.

F_{MG} = factor de cambio de existencias para el régimen de gestión, sin dimensión

F_I = factor de cambio de existencias para el aporte de materia orgánica, sin dimensión

Los coeficientes F_{LU} , F_{MG} y F_I se seleccionaron según correspondiera, de la Tabla 5.5, en el capítulo 5, Tierras de cultivo (IPCC, 2019).

Este método de cálculo usó el Nivel 1 (Tier 1) del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). De los tres niveles que propone el IPCC, el nivel 1 es el básico, el nivel 2 es intermedio y el nivel 3 el más exigente en términos de complejidad e información requerida para tal fin.

El uso del Nivel 1 implicó asumir el supuesto de que en todas las regiones analizadas se viene haciendo agricultura desde hace más de 20 años. Es decir, se asumió de que no se produjo ni deforestación ni otro cambio uso de suelo dentro de ese periodo, ya que el IPCC establece 20 años como el tiempo de estabilización y línea de corte con respecto al cambio de uso de suelo. Al asumir que no hubo cambio, se asignó un coeficiente para el Factor de Uso de Suelo (F_{LU}) de 1, es decir, que no hubo cambio de uso de suelo.

Ahora bien, los autores reconocen que, por un lado, el uso de este supuesto $F_{LU}=1$ es una generalización muy grande, y que, por el otro lado, el cultivo de maíz no se hace de forma continua sobre la misma superficie. Por lo tanto, para esta estimación, se decidió aplicar el criterio de considerar una rotación tradicional maíz, soja de primera, trigo y soja de segunda. De esta manera, se le asigna al maíz un efecto de remoción de carbono de 1/3, es decir, de una vez cada tres años.

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 19 de 36

El segundo coeficiente para considerar en el Nivel 1 IPCC es sobre el tipo de laboreo, donde se debe optar por una de las opciones que brinda este método simplificado: convencional, reducida o siembra directa, según la Tabla 5.5 de IPCC. Para ello se tuvo en cuenta el nivel de adopción informado por el ReTAA de la Bolsa de Cereales para esos sistemas de labranza.

El tercer coeficiente que considera este método es el de las entradas de carbono al sistema, o aportes de materia orgánica al suelo, a través del aporte de residuos. Para ello se usa el factor (Fi) de la Tabla 5.5 de IPCC. Para ello se consideró el nivel de adopción de cultivos de servicio.

Para convertir el valor informado en toneladas de C por hectárea a toneladas de CO₂ equivalente por hectárea (t CO₂eq/ha), se multiplica ese valor por la proporción del peso molecular del dióxido de carbono y el del carbono (44/12), brindando el cambio en la existencia en t CO₂eq/ha. Posteriormente, se divide ese valor por el rendimiento (t/ha) y brinda el cambio en la existencia en t CO₂eq/t. Este último valor es el que se toma como emisión o secuestro adicional por cambio en la existencia de C en el suelo. Cabe aclarar que los resultados con signo positivo (+) indican captura de carbono y resultados con signo negativo (-) indican emisión o pérdida de carbono.

En este estudio también se incluyeron los secuestros debidos a los cultivos de servicio o cobertura. En primera instancia se determinó la superficie del total que implementó esta práctica. Por otro lado, y de acuerdo con la metodología sistémica del análisis de ciclo de vida, se estimó la porción que se corresponde directamente con el cultivo de maíz, ya que, si el cultivo de servicio se usara con fines de alimentación o se cosechara con otros destinos, la captura del carbono debe atribuirse a ese otro fin. A falta de información detallada sobre el destino de los cultivos de cobertura, se asumió que el 50% se cosecha y usa, y el 50% tiene el solo fin de prestar servicio.

Con estas definiciones y considerando el impacto de las emisiones provocadas por la producción de semillas y la operación de siembra, se calcularon los secuestros debidos a la utilización de cultivos de cobertura en los suelos.

5. Resultados

Los resultados muestran que la huella de carbono promedio nacional es de **1.248 kg CO₂eq por hectárea** y de **0,178 kg de CO₂eq por kg** en la puerta del campo. Cuando se tuvieron en cuenta las remociones de GEI por efecto de la siembra directa, los valores cayeron un 12% y fueron de 1.099 kg CO₂eq/ha y 0,157 kg CO₂eq/kg, respectivamente. Y al considerar las remociones por siembra directa y por cultivos de servicio, las huellas se redujeron en 2 kg CO₂eq/kg adicionales, resultando en 1.097 kg CO₂eq/ha y 0,156 kg CO₂eq/kg (Tabla 7 y figura 4).

Tabla 7: Huella de carbono promedio nacional, considerando el efecto remoción de carbono.

TOTAL PAÍS		Sust. Rem.	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	SF ₆	CO ₂ , LT	TOTAL	
SIN secuestro	kg CO ₂ eq/ha	0,7	601,7	600,5	43,3	0,7	0,9	1247,8	
SIN secuestro	kg CO ₂ eq/kg	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,178	
CON secuestro -sólo SD	kg CO ₂ eq/ha	0,7	453,0	600,5	43,3	0,7	0,9	1099,0	-12%
CON secuestro -sólo SD	kg CO ₂ eq/kg	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,157	-12%
CON secuestro - SD y CC	kg CO ₂ eq/ha	0,7	450,7	600,5	43,3	0,7	0,9	1096,8	-12%
CON secuestro de C -SD y CC	kg CO ₂ eq/kg	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,156	-12%

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 20 de 36

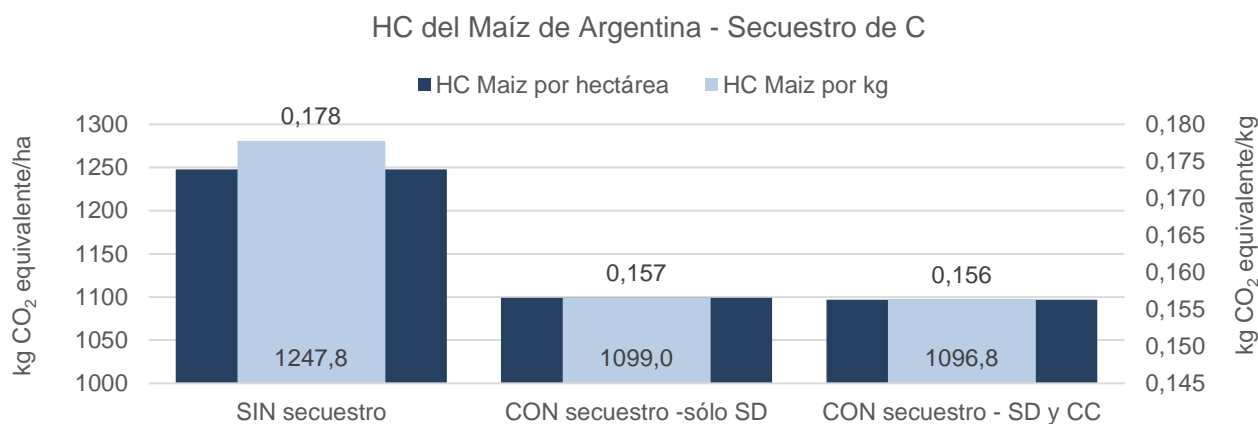


Figura 5: Huella de Carbono del Maíz Argentina Campaña 21/22, considerando remociones de carbono.

La tabla 8 y figura 6 muestran el aporte de cada grupo de insumos al total de la huella de carbono calculada para Argentina.

Tabla 8: aporte de los distintos elementos del inventario ambiental a la huella de carbono total.

TOTAL PAÍS			Sust. Rem.	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	SF ₆	CO ₂ , LT	TOTAL	
SIN secuestro	kg CO ₂ eq/ha		0,7	601,7	600,5	43,3	0,7	0,9	1247,8	
Inventario	Unidad	Cantidad								%
Combustible labores	litros/ha	28,66	0,41	128,72	1,17	5,45	0,13	0,14	136,02	11%
Producción de Semillas	kg/ha	12,32	0,01	18,66	3,95	1,52	0,05	0,03	24,21	2%
Producción de Fertilizantes	kg/ha	186,27	0,11	253,98	11,24	24,10	0,24	0,42	290,09	23%
Producción de Herbicidas	kg/ha	11,93	0,13	104,22	1,38	12,04	0,33	0,28	118,39	9%
Producción de Insecticidas	kg/ha	0,10	0,00	1,15	0,01	0,12	0,00	0,00	1,28	0%
Producción de Fungicidas	kg/ha	0,03	0,00	0,21	0,00	0,03	0,00	0,00	0,25	0%
Residuos de cosecha			0,00	0,00	244,95	0,00	0,00	0,00	244,95	20%
Fertilización nitrogenada			0,00	94,80	337,77	0,00	0,00	0,00	432,58	35%
Secuestro de carbono por siembra directa (SD)			0,00	-148,77	0,00	0,00	0,00	0,00	-148,77	
Secuestro de carbono por cultivo de cobertura (CC)			0,00	-2,57	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,57	
Emissiones del cultivo de cobertura (labores)			0,00	0,25	0,00	0,01	0,00	0,00	0,26	
Emissiones del cultivo de cobertura (semillas)			0,00	0,08	0,04	0,00	0,00	0,00	0,13	

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 21 de 36

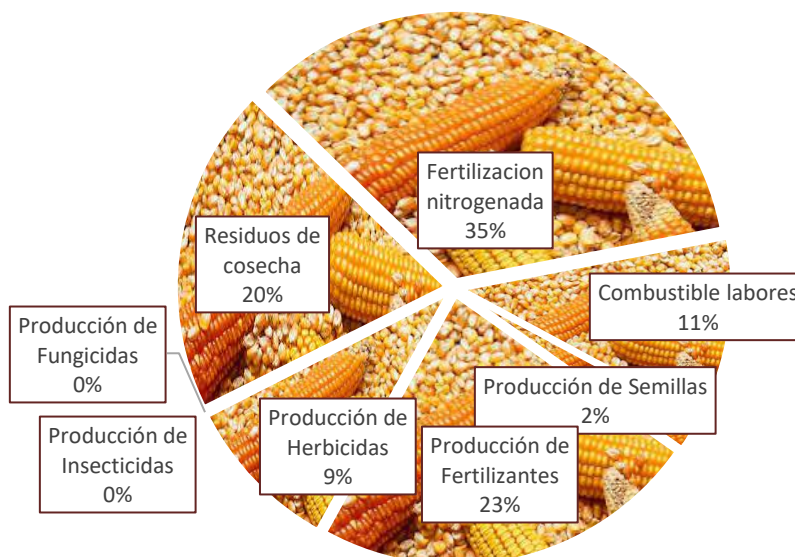


Figura 6: Huella de Carbono del Maíz Argentina Campaña 21/22

La huella fue un 3% más baja en el **maíz tardío** que en el **maíz temprano**, aunque al tener en cuenta las remociones, esa relación se invirtió y determinó un resultado un 1% más bajo a favor del temprano, por efecto de la diferencia en la mineralización de los suelos a causa de una mayor temperatura (Tabla 9).

Tabla 9: Huella de carbono del maíz temprano y del maíz tardío, considerando el efecto remoción de carbono.

	Temprano 46%		Tardío 54%	
Resultado SIN secuestro de C por ha (kg CO ₂ eq/ha)	1270		1228	
Resultado SIN secuestro de C por kg (kg CO ₂ eq/kg)	0,180		0,176	
Resultado CON secuestro de C -sólo SD -por ha (kg CO ₂ eq/ha)	1096	-14%	1102	-10%
Resultado CON secuestro de C -sólo SD -por kg (kg CO ₂ eq/kg)	0,155	-14%	0,158	-10%
Resultado CON secuestro de C - SD y CC -por ha (kg CO ₂ eq/ha)	1093	-14%	1100	-10%
Resultado CON secuestro de C -SD y CC -por kg (kg CO ₂ eq/kg)	0,155	-14%	0,158	-10%

Al considerar el traslado y manipulación del grano desde el campo hasta el puerto, incluyendo la carga a un buque, condición FOB, las emisiones en la puerta del campo suben un 15% con respecto a la situación base, llegando a **0,204 kg de CO₂eq por kg**. Dicho resultado y su apertura por etapas e insumos del ciclo de vida se observan en la tabla 10 y figura 7.

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 22 de 36

Tabla 10: Inventario ambiental y huella de carbono del maíz condición FOB.

Maíz en puerto FOB Argentina	Unidad	Cantidad	Sust. Rem.	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	SF ₆	CO ₂ , LT	TOTAL	
			0,000	0,109	0,086	0,007	0,000	0,002	0,204	
Consumo energía en puerto	kwh	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0%
Combustible movimientos internos	Litros	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0%
Transporte campo - puerto	tkm	0,20	0,000	0,023	0,000	0,001	0,000	0,002	0,026	13%
Maíz a campo									0,178	
Combustible labores	litros/ha	28,66	0,000	0,018	0,000	0,001	0,000	0,000	0,019	9%
Producción de Semillas	kg/ha	12,32	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	2%
Producción de Fertilizantes	kg/ha	186,27	0,000	0,036	0,002	0,003	0,000	0,000	0,041	20%
Producción de Herbicidas	kg/ha	11,93	0,000	0,015	0,000	0,002	0,000	0,000	0,017	8%
Producción de Insecticidas	kg/ha	0,10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0%
Producción de Fungicidas	kg/ha	0,03	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0%
Residuos de cosecha			0,000	0,000	0,035	0,000	0,000	0,000	0,035	17%
Fertilización nitrogenada			0,000	0,014	0,048	0,000	0,000	0,000	0,062	30%

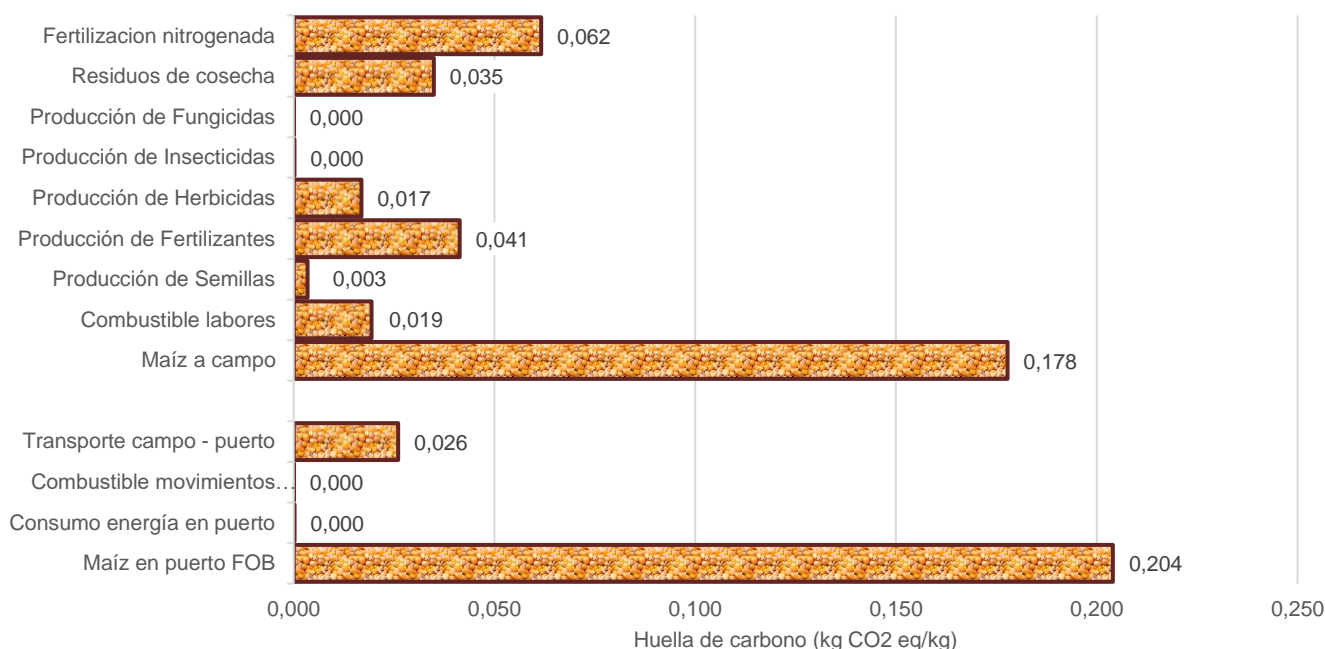


Figura 7: Huella de Carbono del Maíz Argentina Campaña 21/22, en el puerto, condición FOB

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 23 de 36

Los resultados por **nivel tecnológico** indican que el nivel tecnológico Alto arrojó una huella 3% superior al promedio, que el nivel tecnológico Medio tiene una huella 1% superior al promedio, mientras que el resultado del nivel tecnológico Bajo es un 34% inferior al promedio ponderado por país.

Tabla 11: Huella de carbono del maíz por nivel tecnológico.

	Temprano	Tardío	Promedio AR
kg CO₂ eq/ha			
Argentina	1270,3	1228,3	1247,8
Nivel tecnológico ALTO	1371,2	1348,0	1358,8
Nivel tecnológico MEDIO	1165,7	1161,0	1163,2
Nivel tecnológico BAJO	506,9	509,5	508,3
kg CO₂ eq/kg			
Argentina	0,180	0,176	0,178
Nivel tecnológico ALTO	0,186	0,183	0,184
Nivel tecnológico MEDIO	0,185	0,176	0,180
Nivel tecnológico BAJO	0,128	0,107	0,117

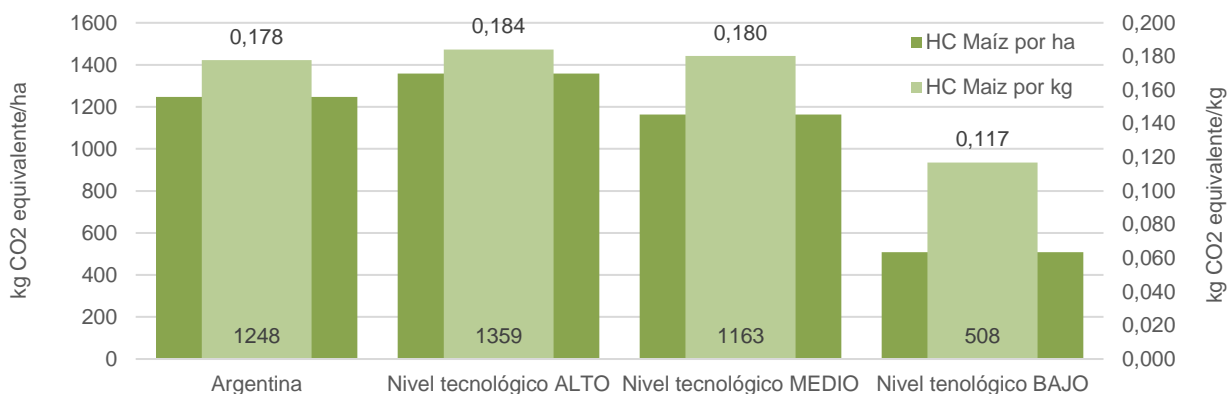


Figura 8: Huella de carbono del maíz de Argentina, de acuerdo con el nivel tecnológico adoptado.

Los resultados por **región** sugieren que aquellas regiones que lograron bajos rendimientos obtuvieron una mayor huella de carbono de producto, como resulta evidente, por ej., en la zona VIII (Tabla 12 y Figura 9).

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 24 de 36

Tabla 12: Huella de carbono del maíz por zonas, (por hectárea y por kg de producto), y su relación con el rendimiento y dosis de N.

	kg CO ₂ eq/ha	kg CO ₂ eq/kg	Rendimiento (kg/ha)	Dosis de N (kg/ha)
Arg	1.248	0,178	7018,67	67,87
I	739	0,118	2898,3	11,1
Ile	762	0,111	3186,9	9,1
Ilo	927	0,113	3818,9	21,8
III	1.224	0,157	7127,0	65,6
IV	1.170	0,165	6846,9	63,4
Vc	1.269	0,197	5905,0	72,4
Vn	854	0,175	5506,9	35,7
VI	1.706	0,217	7377,9	106,6
VII	1.791	0,234	7643,8	111,9
VIII	1.423	0,303	4758,4	83,0
IX	1.523	0,185	8386,6	91,6
X	1.407	0,197	7214,6	80,8
XI	1.069	0,184	5824,7	56,5
XII	1.287	0,219	5925,8	75,2
XIII	822	0,198	3847,2	40,0
XIV	1.336	0,182	7376,7	73,4

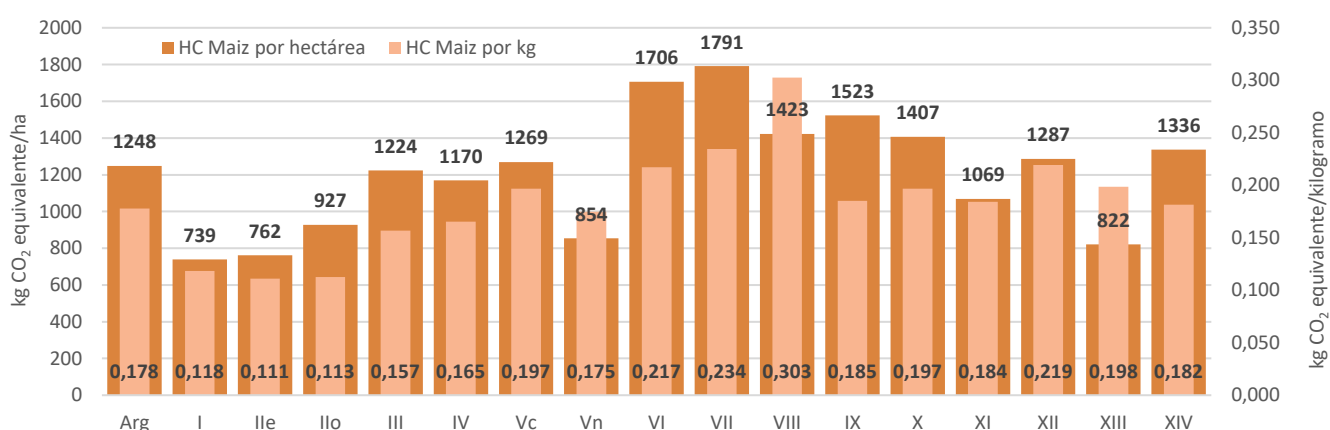


Figura 9: Huella de carbono del maíz por zonas, (por hectárea y por kg de producto).

Por ultimo se analizó el efecto de la siembra directa, sobre la huella de carbono. De acuerdo a la información proporcionada por el ReTAA para la campaña en estudio el porcentaje de adopción fue del 91,09% para la Argentina.

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 25 de 36

Se modeló la incidencia de un sistema con 100% de siembra directa y otro con 0% de adopción de esa tecnología. Los resultados obtenidos fueron los presentados en la tabla 13 y figura 9.

Tabla 13: escenarios de adopción de siembra directa y su relación con la huella de carbono.

	100% SD	SD ReTAA	0% SD
Resultado SIN secuestro de C por ha (kg CO ₂ eq/ha)	1243	1248	1301
Resultado SIN secuestro de C por kg (kg CO ₂ eq/kg)	0,177	0,178	0,185
Resultado CON secuestro de C -sólo SD -por ha (kg CO ₂ eq/ha)	795	800	853
Resultado CON secuestro de C -sólo SD -por kg (kg CO ₂ eq/kg)	0,113	0,114	0,122
Resultado CON secuestro de C - SD y CC -por ha (kg CO ₂ eq/ha)	780	785	838
Resultado CON secuestro de C -SD y CC -por kg (kg CO ₂ eq/kg)	0,111	0,112	0,119

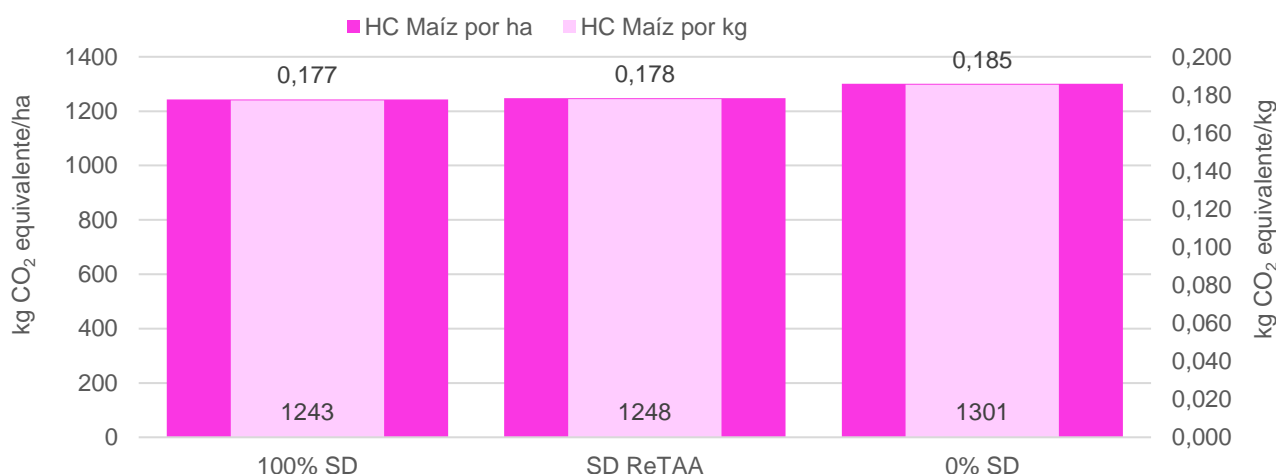


Figura 10: Huella de carbono del maíz de Argentina, según nivel de adopción de siembra directa.

6. Discusión

Este trabajo evaluó la huella de carbono del maíz, el cultivo más importante de Argentina, con 43.861.066 t cosechadas en 15.874.266 ha durante la campaña 2012-2022. Se realizó un análisis detallado de 16 zonas agronómicas.

6.1. Comparación con otros estudios de Argentina

A diferencia de otros estudios anteriores de Argentina realizados con datos de la campaña 2012-2013 (Arrieta, Cuchietti, Cabrol, & González, 2018), no se encontraron diferencias significativas en las emisiones entre la zona pampeana y la zona extrapampeana. La comparación se hizo con respecto a la situación base de la campaña 2021-2022, sin remoción de C, para que puedan observar los resultados bajo las mismas condiciones.

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 26 de 36

El resultado global indica que la huella de carbono por hectárea (kg CO₂ eq / ha) es un 20% superior en este trabajo con respecto a la informada por Arrieta et al (2018), lo que se explica por un mayor uso de insumos para la producción entre los periodos analizados. Sin embargo, la huella de carbono de producto (kg CO₂ eq / t) estimada en este trabajo es un 22% inferior a lo publicado por Arrieta et al (2018). Una posible explicación es que los rendimientos en la campaña 2021-22 fueron superiores a la campaña 2012-2013.

Cuando se analizan los resultados por zona Pampeana o Extra-Pampeana, este trabajo brinda resultados de huella de carbono por hectárea (kg CO₂ eq / ha) un 19% mayor para la zona Pampeana y un 8% mayor para zona Extra-Pampeana. Sin embargo, cuando se analiza la huella de carbono de producto (kg CO₂ eq / t), no hay resultados significativamente distintos para la zona Pampeana. Por el contrario, sí se encontró una gran diferencia en la zona Extra-Pampeana, donde la huella por tonelada fue un 47% inferior en este trabajo con respecto al de Arrieta et al (2018).

Tabla 14: Comparación entre los resultados de Arrieta (2018) campaña 2012-2013 y de este estudio (Maizar) campaña 2021-2022.

		Arrieta	Arrieta	Maizar	Diferencia %	Arrieta	Maizar	Diferencia %
		Rendimiento (kg/ha)	(kg CO ₂ eq/ha)			(kg CO ₂ eq/kg)		
Pampeana	III east	5.818	1.123	1.224	9%	0,193	0,157	-19%
	IV	5.241	943	1.170	24%	0,180	0,165	-8%
	V central	4.968	1.163	1.269	9%	0,234	0,197	-16%
	VI	8.754	1.374	1.706	24%	0,157	0,217	38%
	VII	8.909	1.372	1.791	31%	0,154	0,234	52%
	VIII	6.564	1.365	1.423	4%	0,208	0,303	45%
	IX	5.500	1.089	1.523	40%	0,198	0,185	-6%
	X	7.109	1.137	1.407	24%	0,160	0,197	23%
	XI	1.911	585	1.069	83%	0,306	0,184	-40%
	XII	4.993	1.353	1.287	-5%	0,271	0,219	-19%
	XIV	6.451	1.232	1.336	8%	0,191	0,182	-5%
	Extra-Pampeana	I	2.041	735	739	1%	0,360	0,118
II east		1.967	620	762	23%	0,315	0,111	-65%
II west		2.836	706	927	31%	0,249	0,113	-55%
III west		4.565	1.068	1.224	15%	0,234	0,157	-33%
V north		3.355	654	854	31%	0,195	0,175	-10%
XIII		4.125	1.159	822	-29%	0,281	0,198	-29%
Pampeana		6.020	1.158	1.382	19%	0,205	0,204	-1%
Extra-Pampeana		3.148	824	888	8%	0,272	0,145	-47%
Argentina sin secuestro		7.019	1.040	1.248	20%	0,229	0,178	-22%

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 27 de 36

6.2. Comparación con otros estudios del mundo

Resulta de interés conocer los valores que se encuentran en las bases de datos internacionales con respecto al grano de maíz en diferentes partes del mundo. Como se puede observar en la Tabla 15, la huella de carbono publicada por Agrifootprint para Argentina es de 0,176 kg CO₂eq / kg, lo que representa una diferencia de apenas -1% con respecto a los valores estimados por este estudio para el caso base. El resto de los países presenta valores superiores al estimado para nuestro país.

Tabla 15: Comparación entre los resultados de bases de datos y de este estudio (Maizar).

Base datos	País	kg CO ₂ eq / kg	Difer. con AR Caso base
Agrifootprint	Argentina	0,176	-1%
EcolInvent	Brasil	0,264	33%
Agrifootprint	Brasil	0,324	45%
Agrifootprint	China	0,411	57%
Agrifootprint	EE.UU.	0,277	36%
Agrifootprint	India	0,614	71%
EcolInvent	Mundo	0,526	66%
Agrifootprint	Rusia	0,545	67%
EcolInvent	Sudáfrica	0,546	67%
Agrifootprint	Sudáfrica	0,366	51%
Agrifootprint	Ucrania	0,328	46%
Agrifootprint	Vietnam	0,528	66%

La bibliografía científica internacional no es muy abundante en lo referente a estudios de huella de carbono del maíz. En la búsqueda en bases de datos bibliográficas se obtuvieron trabajos de alcance mundial, de Asia -particularmente China y Tailandia-, Europa, Canadá, EE.UU. y Brasil.

El estudio global de Nemecek y otros (2012) evaluó la variabilidad en el potencial de calentamiento de 27 cultivos utilizando el método de extrapolación modular de evaluación del ciclo de vida agrícola (MEXALCA). Los valores medios mundiales ponderados de huella de carbono para los 27 cultivos analizados variaron en un amplio rango, con los resultados más bajos para los cultivos de azúcar (<0,05 kg CO₂eq / kg); seguido de tubérculos (<0,15 kg CO₂eq / kg); verduras y frutas (<0,35 kg CO₂eq / kg); y cereales (excepto arroz). La colza y la soja presentaron valores medios (<0,6 kg CO₂eq / kg). Los valores más altos se encontraron para las nueces de árbol; otros cultivos oleaginosos (linaza, algodón, maní); y arroz (1,2–2,4 kg CO₂eq / kg). La huella de carbono se correlacionó negativamente con el rendimiento medio de los diferentes cultivos.

El trabajo de Zhang y otros (Zhang, y otros, 2018) evaluó las diferencias y los potenciales de la huella de carbono en los sistemas de maíz de riego en China; basado en una encuesta de 120 agricultores y una evaluación del ciclo de vida (ACV). Los resultados indicaron que la emisión de GEI del maíz bajo riego fue de 5,33 t CO₂ eq/ha, un 40% superior a la de secano; principalmente por el mayor consumo de energía eléctrica y la mayor aplicación de

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 28 de 36

fertilizantes (especialmente nitrógeno). El rendimiento promedio en sistema de riego fue de 10 t / ha; 2,1 veces la del sistema de secano (4,7 t/ha); y por lo tanto la huella de carbono fue menor en un 37%.

En un análisis de Xu y otros en China (Xu, Liu, Xu, & Dai, 2018), se investigaron las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la producción de maíz durante el período 2003-2016 utilizando datos estadísticos nacionales. El nivel de desarrollo económico agrícola fue la razón principal del aumento de las emisiones de GEI, mientras que la eficiencia agrícola fue la razón principal de la disminución de las emisiones de GEI. Concluyeron que la HC del maíz disminuye con el aumento de rendimiento de los cultivos.

El artículo de Hou y otros en China (Hou, Yang, Zhang, & Jiang, 2021) tuvo como objetivo evaluar y comparar el impacto del tamaño de los campos en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas de la producción de trigo y maíz en la Llanura del Norte de China (NCP), con el objetivo de establecer una relación entre el tamaño de la explotación y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Encontraron una relación inversa entre tamaño del establecimiento y las huellas.

Un estudio de China (Zhang, Shen, & Zhang, 2017) estimó una huella de carbono de 4.052 kg CO₂eq/ha o 0,48 kg CO₂eq/kg para el maíz. Los factores más importantes que determinaron las emisiones de carbono fueron la aplicación de fertilizantes nitrogenados, la quema de rastrojos, el consumo de energía de la maquinaria y el consumo de energía para riego. Los factores de secuestro de carbono más importantes fueron el retorno de rastrojos del cultivo, la aplicación de fertilizantes nitrogenados químicos y la siembra directa.

El artículo de Moungsree y otros (Moungsree, Neamhom, & Polprasert, 2022) estimó la huella de carbono del maíz en Tailandia con resoluciones temporales y geográficas. Estimaron las emisiones de gases de efecto invernadero y el costo del ciclo de vida asociado con la producción de maíz y encontraron que las emisiones totales de GEI de la producción de maíz fueron en promedio 429 ± 27 kg CO₂eq/tonelada de grano, con las emisiones más altas ocurriendo durante la estación seca.

El trabajo de investigación en Polonia (Holka & Bienkowski, 2020) determinó la huella de carbono de maíz en sistemas convencionales, reducidos y sin labranza, los que fueron de 2.347,40; 2.353,40 y 1.868,70 CO₂ eq / ha, respectivamente. La mayor fuente de emisiones de GEI fue el uso de fertilizantes nitrogenados. La labranza sin inversión con cultivos de cobertura y dejando una gran cantidad de residuos de cultivos en el campo aumentó el secuestro de carbono orgánico y contribuyó a una reducción significativa de la huella de carbono en la producción de maíz.

Un trabajo de España (Amaia, y otros, 2012) estableció una huella de carbono del maíz en 515 kg CO₂ eq/t en secano, y en 562 kg CO₂ eq/t en el caso del maíz bajo riego. Encontraron que la fertilización nitrogenada es el punto crítico más importante sobre el que se debe actuar para reducir la huella de carbono. El consumo de gasoil en los procesos de producción agrícola fue el segundo punto crítico sobre el que actuar, y otros aspectos a considerar son el secado del maíz y el gasto energético asociado al riego.

En Canadá (Ma, Liang, Biswas, Morrison, & McLaughlin, 2012), realizaron un ensayo de 19 años con maíz bajo diferentes niveles de tratamientos de N en un cultivo continuo o rotación con leguminosas para evaluar la sostenibilidad de los sistemas de producción mediante la estimación de HC. Encontraron una relación inversa entre el rendimiento y la HC. Concluyeron que la producción de maíz con 100 kg N / ha en rotación puede mantener una

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 29 de 36

alta productividad mientras reduce la HC en comparación con un sistema de cultivo continuo de maíz con 200 kg N / ha. También en Canadá, se analizaron datos del censo de Ontario (Jayasundara, Wagner-Riddle, Dias, & Kariyapperuma, 2014). La huella de carbono del grano de maíz varió de 243 a 353 kg CO₂eq / t grano, de los cuales el 72 % estuvo asociado con aportes de N procedente del uso de fertilizante sintético N, 13 % de la producción de fertilizante y 10% del estiércol aplicado.

En su disertación doctoral, Sheehan (2014) analizó la huella de carbono del maíz de productores integrantes del Programa Gevo de reducción emisiones en el suroeste de Minnesota, EE.UU. Estimó una huella de 1.718 kg CO₂ eq /ha y de 167 kg CO₂ eq / t en productores que evitaron el uso excesivo de fertilizantes, adoptaron prácticas de labranza cero y reemplazaron el fertilizante comercial con estiércol animal.

En EE.UU., investigadores del consorcio de centros de investigación CGIAR realizaron un ensayo en el este de Nebraska, para cuantificar las emisiones de GEI, los cambios en el carbono orgánico del suelo (COS) y el potencial de calentamiento global neto (GWP) en cuatro sistemas bajo riego. Concluyeron que la huella puede mantenerse baja cuando se optimiza el potencial de rendimiento (Adviento-Borbe, Haddix, Binder, Walters, & Dobermann, 2007).

En una revisión bibliográfica (Snyder, Bruulsema, Jensen, & Fixen, 2009) encontraron que (1) el uso apropiado de fertilizante N ayuda a restaurar y mantener los niveles de carbono orgánico del suelo (COS); (2) las buenas prácticas de fertilización ayudan a reducir el riesgo de un aumento de las emisiones de óxido nitroso; (3) la labranza reducida pueden aumentar los niveles de COS; (4) las diferencias entre las fuentes de N de fertilizantes en las emisiones de N₂O dependen del sitio y del clima; y (5) los sistemas de manejo intensivo no necesariamente aumentan la HC.

En el centro de Nebraska, EE.UU., (Grassini & Cassman, 2012) evaluaron las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del maíz bajo riego con grandes aportes de nitrógeno (N) (183 kg de N/ ha) y agua de riego (272 mm/ha). El maíz de regadío logró menor huella de carbono (231 kg de CO₂eq/ t de grano) que otras formas de producción a secano.

En Brasil (Trovo-Garofalo, y otros, 2022) estimaron las emisiones de CO₂eq asociadas con un conjunto de 64 cultivos, más silvicultura y pasturas implantadas, en los 5570 municipios brasileños, así como a nivel estatal y nacional. El objetivo principal de ese estudio fue proporcionar estimaciones de las tasas de emisión de CO₂ eq para un periodo de 20 años, apropiados para análisis de ciclo de vida. La HC para el maíz se estimó en 2.000 kg CO₂eq/ha y 366 kg CO₂eq/t.

Tabla 16: Comparación entre los resultados de publicaciones mundiales y de este estudio.

Estudios		kg CO ₂ eq/ha	Diferencia	kg CO ₂ eq/kg	Diferencia
Mundo	Rend. (kg/ha)				
Maíz global	6.586	2.950	-58%	0,451	-61%
China	Rend. (kg/ha)				
Maíz riego China 2017	10.000	2.850	-56%	0,285	-38%
Maíz secano China 2017	4.700	1.701	-27%	0,362	-51%
Maíz China 2004-2016	7.500	4.425	-72%	0,590	-70%
Maíz China	Pequeño productor	3.325	-62%	0,400	-56%

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 30 de 36

	Mediano productor		2.724		-54%	0,335	-47%
	Gran productor		2.473		-50%	0,270	-34%
	Maíz China		4.052		-69%	0,480	-63%
	Maíz Tailandia	7.630	2.970		-58%	0,429	-59%
Europa		Rend. (kg/ha)					
	Maíz Polonia 2015-17 convencional	12.700	2.347		-47%	0,185	-4%
	Maíz Polonia 2015-17 reducida	12.400	2.353		-47%	0,190	-6%
	Maíz Polonia 2015-17 directa	10.500	1.869		-33%	0,178	0%
	España					0,515	-65%
Canadá		Rend. (kg/ha)					
	Promedio	kg N	8.364	2.402		0,283	-37%
	Maíz-Maíz	50	6.000	1.138	10%	0,190	-6%
	Maíz-Maíz	100	7.000	1.956	-36%	0,279	-36%
	Maíz-Maíz	150	8.000	2.828	-56%	0,354	-50%
	Maíz-Maíz	200	9.000	3.474	-64%	0,386	-54%
	Maíz-Maíz	250	9.000	4.569	-73%	0,508	-65%
	Soja-Maíz	50	8.000	1.250	0%	0,156	14%
	Soja-Maíz	100	9.000	1.962	-36%	0,218	-18%
	Soja-Maíz	150	9.000	2.883	-57%	0,320	-45%
	Forraje-Maíz	50	9.000	1.329	-6%	0,148	20%
	Forraje-Maíz	100	9.000	2.057	-39%	0,229	-22%
	Forraje-Maíz	150	9.000	2.971	-58%	0,330	-46%
	Promedio Ontario		9.400	2.641	-53%	0,281	-37%
EE.UU.		Rend. (kg/ha)					
	Programa Gevo reducción emisiones			1.718	-27%	0,167	6%
	GREET model U.S. Dept. of Energy			3.152	-60%	0,371	-52%
	Ensayo maíz continuo - intensivo	15.000	3.080		-59%	0,205	-13%
	Ensayo maíz en rotación con soja	14.700	3.740		-67%	0,254	-30%
	Ensayo maíz en rotación soja - intensivo	15.600	3.740		-67%	0,240	-26%
	Relevamiento Nebraska	13.200	3.049		-59%	0,231	-23%
Brasil			5.459	2.000	-100%	0,366	-51%

7. Conclusiones

Este trabajo evaluó la huella de carbono (HC) del maíz producido en Argentina en la campaña 2021-2022, cuantificando las emisiones y remociones significativas de GEI durante el ciclo de vida del maíz, desde la extracción de materiales para la producción de insumos, hasta el producto entregado en el puerto de exportación. Se analizaron

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 31 de 36

tres unidades declaradas: 1 hectárea de cultivo cosechada, 1 kg de maíz en la puerta del campo y 1 kg de maíz en el puerto de exportación, condición FOB.

La estimación se realizó usando los datos del “Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada” de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires, incluyendo dos fechas de siembra (temprano y tardío) y tres niveles tecnológicos (alto, mediano y bajo) dentro de cada una de las dieciséis zonas agroeconómicas productoras de maíz.

Los resultados muestran que la HC promedio nacional es de 1.248 kg CO₂eq por hectárea y de 0,178 kg de CO₂eq por kg en la puerta del campo, un 22% inferior a la de hace 10 años. Esto es un 61% inferior al promedio mundial, que tiene en cuenta el cambio de uso de suelo. No se encontraron diferencias significativas entre la región pampeana y la región extrapampeana. La HC del maíz condición FOB fue de 0,204 kg de CO₂e por kg.

Las diferencias regionales en la HC se atribuyen principalmente a las diferencias en el rendimiento y en las dosis de aplicación de fertilizante nitrogenado entre las regiones.

La comparación con otros estudios científicos disponibles en la bibliografía internacional permite concluir que el resultado obtenido en este trabajo presenta una de las menores huellas de carbono del mundo, explicado por las buenas condiciones ambientales de producción, como así también un relativamente bajo uso de insumos. La huella de carbono es un 52% inferior a la de China y Tailandia, explicada por un menor uso de fertilizantes nitrogenados en Argentina. Comparando con Europa, la HC es similar a la de Polonia, pero un 66% inferior a la de España, por la costumbre de quema del rastrojo en ese país. La HC es un 27% inferior a la de Canadá y EE.UU., por menor uso de fertilizante nitrogenado. La HC estimada para Argentina también es un 52% inferior a la de una serie de datos de 20 años de Brasil, explicada por la consideración del cambio de uso de suelos. Los resultados estimados en este trabajo para Argentina son similares a los publicados por la base de datos Ecoinvent, sin tener en cuenta el cambio de uso de suelos.

Este estudio contribuye a comprender la huella de carbono de la producción de maíz, tanto para la unidad declarada como por hectárea, en una vasta región agrícola de Argentina y establece las bases para analizar la sostenibilidad de la producción agrícola en diversas regiones productivas.

8. Observaciones

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a los servicios tecnológicos y las condiciones de prestación de los mismos acordados, el INTI y el DEPTO de Química Analítica y Residuos Urbanos Centro declinan toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciera de este informe.

Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 32 de 36

9. Referencias

- Adviento-Borbe, M. A., Haddix, M. L., Binder, D. L., Walters, D. T., & Dobermann, A. (2007). *Soil greenhouse gas fluxes and global warming potential in four high-yielding maize systems*. Obtenido de *Global Change Biology* 13: 1972–1988 - September 2007: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01421.x>
- Amaia, A., Lafarga, A., del Hierro, O., Unamunzaga, O., Besga, G., Domench, F., & Sopelana, A. (2012). *Huella de Carbono de los Cereales: Análisis de la emisión de gases de efecto invernadero en el sector agroalimentario*. <https://www.navarraagraria.com/categories/item/257-huella-de-carbono-de-los-cereales-analisis-de-la-emision-de-gases-de-efecto-invernadero-en-el-sector-agroalimentario>: Navarra Agraria ISSN 0214-6401, N° 194, 2012, págs. 31-38. Navarra, España.
- Arrieta, E. M., Cuchiatti, A., Cabrol, D. A., & González, A. D. (2018). *Greenhouse gas emissions and energy efficiencies for soybeans and maize cultivated in different agronomic zones: A case study of Argentina*. Obtenido de *Science of the Total Environment* 625 (2018) 199–208: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.286
- Bolsa de Cereales. (2023). *Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada (ReTAA)*. Obtenido de Campaña 2021-2022. Buenos Aires, Bolsa de Cereales: <http://www.bolsadecereales.com/retaa-informes-anales>
- Boto Fidalgo, J. A., Pastrana Santamarta, P., & Suárez de Cepeda Martínez, M. (2005). *Consumos energéticos en las operaciones agrícolas en España*. Obtenido de Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y ETSIA: <https://www.idae.es/publicaciones/consumos-energeticos-en-las-operaciones-agricolas-en-espana>
- Dirección Nacional de Cambio Climático. (2023). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y Monitoreo de Medidas de Mitigación*. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <https://inventariogei.ambiente.gob.ar/>
- Donato, L. (2020). *Estimación del consumo potencial de gasoil para las tareas agrícolas, transporte y secado de granos en el sector agropecuario*. Obtenido de INTA Centro de Investigación de Agroindustria, Ingeniería Rural: <https://inta.gob.ar/documentos/estimacion-del-consumo-potencial-de-gasoil-para-las-tareas-agricolas-transporte-y-secado-de-granos-en-el-sector-agropecuario>
- EcoInvent. (2023). *EcoInvent Database*. Obtenido de <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-association/>
- FAO & ITPS. (2020). *Global Soil Organic Carbon Map V1.5: Technical report*. Obtenido de Rome, FAO: <https://doi.org/10.4060/ca7597en>
- FAOSTAT. (2023). Crops and livestock products. *Estadísticas* (pág. FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations)). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 33 de 36

- Grassini, P., & Cassman, K. (2012). *High-yield maize with large net energy yield and small global warming intensity*. Obtenido de Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 109, 1074–1079:
<https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1116364109>
- Holka, M., & Bienkowski, J. (2020). *Carbon Footprint and Life-Cycle Costs of Maize Production in Conventional and Non-Inversion Tillage Systems*. Obtenido de Agronomy 2020, 10, 1877: doi:10.3390/agronomy10121877
- Hou, L., Yang, Y., Zhang, X., & Jiang, C. (2021). *Carbon footprint for wheat and maize production modulated by farm size: a study in the North China plain*. Obtenido de International Journal of Climate Change Strategies and Management, Vol. 13 No. 3, pp. 302-319:
<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJCCSM-10-2020-0110/full/html>
- IBM Institute for Business Value (IBV). (2021). *Sustainability at a turning point*. Obtenido de
<https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/sustainability-consumer-research>
- INDEC. (2020). *Complejos exportadores*. Obtenido de
https://www.indec.gov.ar/ftp/infografias/infografia_complejos_03_20.jpg
- IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra*. Obtenido de Capítulo 11: Emisiones de N2O de los suelos gestionados y emisiones de CO2 derivadas de la aplicación de cal y urea: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>
- IPCC. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 2: Generic Methodologies Applicable to Multiple Land-Use Categories*. Obtenido de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>
- IPCC. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 5: Cropland*. Obtenido de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>
- IPCC. (2019). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Revisión 2019*. Obtenido de Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>
- IRAM-ISO 14067. (2019). *Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para cuantificación. Primera edición 2019-11-08. 68 pp*. Obtenido de <https://catalogo.iram.org.ar/#/normas/detalles/12261>

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 34 de 36

- Jayasundara, S., Wagner-Riddle, C., Dias, G., & Kariyapperuma, K. (2014). *Energy and greenhouse gas intensity of corn (Zea mays L.) production in Ontario: A regional assessment*. Obtenido de Canadian Journal of Soil Science Volume 94, Number 1: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.4141/cjss2013-044>
- Ma, B. L., Liang, B. C., Biswas, D. K., Morrison, M. J., & McLaughlin, N. B. (2012). *The carbon footprint of maize production as affected by nitrogen fertilizer and maize-legume rotations*. Obtenido de Nutrient Cycling in Agroecosystems > 2012 > 94 > 1 > 15-31: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-012-9522-0>
- MAGyP. (2023). *Subsecretaría de Agricultura, Dirección Nacional de Agricultura, Dirección de Estimaciones Agrícolas*. Obtenido de Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca | Presidencia de la Nación: <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>
- Márgenes Agropecuarios. (2023). *Resultados agroeconómicos*. Obtenido de <https://www.margenes.com/>
- Moungsree, S., Neamhom, T., & Polprasert, S. (2022). *Carbon footprint and life cycle costing of maize production in Thailand with temporal and geographical resolutions*. Obtenido de Int J Life Cycle Assess: <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02021-4>
- Moungsree, S., Neamhom, T., Polprasert, S., & Patthanaisaranukool, W. (2022). *Carbon footprint and life cycle costing of maize production in Thailand with temporal and geographical resolutions*. Obtenido de The International Journal of Life Cycle Assessment, 1-16: https://www.researchgate.net/publication/357825185_Carbon_footprint_and_life_cycle_costing_of_maize_production_in_Thailand_with_temporal_and_geographical_resolutions
- Nemecek, T., Weiler, K., Plassmann, K., Schnetzer, J., Gaillard, G., Jefferies, D., . . . Milà i Canals, L. (2012). *Estimation of the variability in global warming potential of worldwide crop production using a modular extrapolation approach*. Obtenido de Journal of Cleaner Production, Volume 31, 2012, Pages 106-117, ISSN 0959-6526: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.005>
- ONU. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. *Organización de las Naciones Unidas. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015*. Roma: ONU A/RES/70/1.
- ReTAA. (2023). *Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada. Bolsa de Cereales de Buenos Aires*. Obtenido de <http://www.bolsadecereales.com/que-es-el-retaa>
- SAyDS. (2019). *Tercer Informe Bienal de Actualización de Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC)*. Obtenido de Argentina. Biennial update report (BUR). BUR 3: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/3er%20Informe%20Bienal%20de%20la%20Republica%20Argentina.pdf>

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 35 de 36

- Sheehan, J. J. (2014). *Biofuels and sustainable development: Perspectives on the farm and around the globe*. Obtenido de Tesis Doctoral. University of Minnesota: <https://conservancy.umn.edu/handle/11299/163024>
- Sigaudó, D., & Terré, E. (2022). *Aporte del maíz a la economía argentina*. Obtenido de Bolsa de Comercio de Rosario. AÑO XXXIX - N° Edición 2042 - Especial Campaña de Maíz 2021/22 - 11 de Marzo de 2022: <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/aporte-del>
- Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L., & Fixen, P. E. (2009). *Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects*. Obtenido de Agric. Ecosyst. Environ. 133, 247–266 (2009): <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880909001297>
- Trovo-Garofalo, D. F., Novaes, R. M., Ricardo A.A. Pazianotto, V. G.-M., Brandão, M., Zanin-Shimbo, J., & Folegatti-Matsuura, M. I. (2022). *Land-use change CO2 emissions associated with agricultural products at municipal level in Brazil*. Obtenido de Journal of Cleaner Production, Volume 364, 2022, 132549, ISSN 0959-6526: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132549>
- World Emissions Clock. (2023). *World Emissions Clock*. Obtenido de world data lab: <https://worldemissions.io/>
- Xu, Z., Liu, G., Xu, W., & Dai, Y. (2018). *Evaluation of Greenhouse Gas Emissions from Maize Production in China*. Obtenido de Chemical Engineering Transactions, 70, 1309-1314: <https://doi.org/10.3303/CET1870219>
- Zhang, D., Shen, J., & Zhang, F. (2017). *Carbon footprint of grain production in China*. Obtenido de Sci Rep 7, 4126 (2017): <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04182-x>
- Zhang, W., He, X., Zhang, Z., Gong, S., Zhang, Q., Zhang, W., . . . Chen, X. (2018). *Carbon footprint assessment for irrigated and rainfed maize (Zea mays L.) production on the Loess Plateau of China*. Obtenido de Biosystems Engineering, Volume 167, 2018, Pages 75-86, ISSN 1537-5110: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.12.008>

Fin del Informe

El presente informe ha sido firmado digitalmente mediante el Sistema de Gestión Documental Electrónica (GDE) cumpliendo con los estándares internacionales de seguridad adoptados por la Infraestructura de Firma Digital de la República Argentina (IFDRA).

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



Informe de Asistencia Técnica

OT N° 216-4848 Único
Página 36 de 36

CLÁUSULAS APLICABLES A ESTE INFORME:

1. Los solicitantes podrán difundir los contenidos de este informe en la medida que su reproducción sea completa y exacta, citando al INTI como ejecutor de la tarea. El INTI no será responsable por el uso incompleto o inexacto de la información incluida en este documento.
2. Los resultados incluidos en este informe se refieren exclusivamente a los obtenidos en relación con el/los elemento/s ensayado/s y/o los servicios de asistencia tecnológica que hayan sido expresamente acordados con el solicitante.
3. El INTI no asume responsabilidad alguna respecto de la eventual extensión de los resultados informados a otro/s producto/s o elemento/s, diferente/s al/los ensayado/s (excepto que el muestreo previo haya sido realizado por el propio INTI) o a servicios que difieran de los expresamente acordados.
4. El INTI mantiene la confidencialidad respecto de la información generada durante el desarrollo de los ensayos, análisis, estudios o de todo otro servicio de asistencia, reservándose el derecho de utilizar los resultados obtenidos a partir de los mismos sólo con fines estadísticos, para su uso interno o para la divulgación genérica de sus actividades, adoptando en dichos casos las medidas de resguardo necesarias para preservar la propiedad de esa información y evitar la identificación de su origen.
5. Cuando la información a la que se refiere el punto anterior le sea requerida legalmente por una autoridad competente y/o por una autoridad judicial, el INTI informará de tal situación al propietario de la misma antes de ponerla a disposición del requirente.
6. En caso de violación de la cualquiera de las presentes cláusulas, el INTI adoptará las medidas legales correspondientes e iniciará las acciones administrativas y/o judiciales que se encuentren a su alcance.

Ver cláusulas aplicables a este informe al final del documento



www.inti.gob.ar | consultas@inti.gob.ar | 0800 444 4004



República Argentina - Poder Ejecutivo Nacional
1983/2023 - 40 AÑOS DE DEMOCRACIA

Hoja Adicional de Firmas
Informe gráfico firma conjunta

Número:

Referencia: Informe Maizar OT 216 4848

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 36 pagina/s.