

## EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN UN PERIODO DE HABILITACIÓN DE TIERRAS

Emissions of greenhouse gas in a period of land enabling

Emilio Garcia Apaza<sup>1,2</sup>

### RESUMEN

Parte de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), están en las emisiones debidas a los chaqueos o quema de una parte de la biomasa forestal para propósitos agrícolas y pecuarios. La quema de biomasa ocurre normalmente en épocas de preparación de terrenos para iniciar las actividades agrícolas. Siguiendo una metodología basada en el conteo de focos de calor y el área relativa que ésta produce por su potencialidad de producir calor. Para tal efecto se aplicó la metodología del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático. Se ha estimado las emisiones de GEI del año 2007. Los resultados de estas estimaciones han mostrado que la deforestación con los fines señalados emite 1.665,79 Gg de CO<sub>2</sub>, sobre todo en las regiones orientales de Bolivia, y que al menos 24% de los focos de calor localizados por los satélites NOAA y MODIS, corresponden a quemas prescritas de sabanas.

**Palabras claves:** Chaqueos, focos de calor, frontera agrícola, CO<sub>2</sub>, evaluación de quemas.

### ABSTRACT

Part of Greenhouse Gases (GHG) emissions are due to burning of slash or burning of a portion of forest biomass for agricultural and livestock purposes. Biomass burning usually occurs in times of preparation of land to start farming. Following a methodology based on the counting of fires points (fires lit), and the relative area that could produce because its potentiality to produce fire. For this purposes we applied the methodology of the Intergovernmental Panel on Climate Change for the estimation of CO<sub>2</sub> emissions in Bolivia for 2007. These results have shown that the emissions due to deforestation was 1665.79 Gg of CO<sub>2</sub>, particularly in the eastern regions of Bolivia, and that at least 24% of the hot spots located by NOAA satellites and MODIS correspond to prescribed burning of savannas.

**Key words:** Slash, heat sources, fires points, agricultural frontier, CO<sub>2</sub>, assessment of burns.

### INTRODUCCIÓN

Cada año, en Bolivia, las quemas de áreas forestales afectan mayores superficies boscosas, disminuyendo el hábitat natural de muchas especies tanto animal como vegetal, afectando el aprovechamiento forestal sostenible y, además, se constituyen en un peligro constante para las poblaciones cercanas a los sitios donde ocurren.

Las actividades de chaqueos de bosques, son en Bolivia, actividades difíciles de reemplazar. Los chaqueos y quemas de pastizales, como actividades para la habilitación de nuevas tierras de cultivos, rebrote de pastizales y control de plagas y enfermedades, son prácticas ya tradicionales y difíciles de reemplazar por el costo que generaría a los propietarios la introducción de otras técnicas (Sandoval, 2003). Las quemas de áreas forestales se realizan en general para habilitar tierras para la agricultura y la ganadería; actividad similar son las quemas de pastizales naturales para recuperar la productividad de los pastos para el ganado; la falta de cuidado y control en estas actividades son las causas principales que producen los incendios forestales. De esta forma, la preparación de terrenos que utiliza medios tradicionales, no exime la posibilidad de generar incendios forestales que puedan afectar vastas extensiones de terreno, como el caso ocurrido en el 2001 en las localidades de Ascensión de Guarayos y San Ignacio de Moxos, en los departamentos de Santa Cruz y Beni respectivamente.

### La actividad de chaqueo

El chaqueo es un proceso que cuenta con tres momentos fundamentales: la tumba, rosa y quema.

<sup>1</sup> Docente de la materia de Sistemas de Producción Agrícola, Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz-Bolivia.

<sup>2</sup> Proyecto EVASION/ECOUSO. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz-Bolivia.

La tumba se refiere al derribe de árboles, la rosa es el desmalezado con machete, y la quema, que se produce una vez que ha secado el material herbáceo y semileñoso del terreno. Chaquear con fuego es extremadamente barato en comparación con otro tipo de tecnologías. Una caja de fósforos y un machete, además del pago de mano de obra, no supera los 50 bolivianos diarios, siendo que esto constituye en una alternativa barata para el productor agrícola.

Este problema es más latente en los meses de agosto, septiembre y octubre. Según la Superintendencia Agraria (2001), en el 2001, hubo 11.026 mil puntos de calor, afectando a 1,5 millones de hectáreas en todo el país. En un sólo día, según los datos oficiales, se registró la aparición de más de 500 focos de calor, lo que habla de un verdadero incendio del territorio por la ampliación de la frontera agrícola. En general, se queman bosques y pastizales para la agricultura y la ganadería, dos sectores de fuerte movimiento económico en los departamentos de Santa Cruz y Beni.

Este año se ha reportado que en el país fueron detectados más de 12 mil focos de calor en cerca de un millón de hectáreas, principalmente en los departamentos de Santa Cruz, Beni, Pando y el norte de La Paz.

Según el más reciente reporte de la Superintendencia Agraria del 2007 y reportado por la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2007), hasta fines de julio se registraron 1.073 focos de calor, entre quemaduras de pastizales y chaqueos, en 129.883 hectáreas de tierra en el país. De acuerdo a este informe, de los 1.073 focos de calor, 451 corresponderían a la quema de pastizales, 27 en Tierras Comunitarias de Origen (TCO), 99 en áreas protegidas, en tanto que el resto (496) correspondería a chaqueos para realizar desmontes.

Uno de los resultados más notorios como consecuencia de las quemaduras en tierras forestales, es la producción de humo que se puede traducir en una contaminación atmosférica significativa. El humo producido lleva inherente el CO<sub>2</sub> principalmente como producto de la quema. Este gas es uno de los mayores componentes de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el sector del Uso de la Tierra y Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura de nuestro país.

### Detección de focos de calor

El término 'foco de calor' se utiliza generalmente para definir un área que presenta una temperatura

de superficie anómala. En la mayoría de los casos se asocia la presencia de un foco a la existencia potencial de un fuego o incendio. La detección de focos de calor se basa en la capacidad de algunos sensores remotos de capturar la energía emitida por la superficie en las longitudes de onda correspondientes al infrarrojo medio y térmico. De acuerdo a las temperaturas que alcanzan los incendios (entre 300 °C y 1500 °C de acuerdo al tipo de vegetación, combustible acumulado, condiciones ambientales, entre otras) se establecen los umbrales que permiten identificar los focos de calor (Giglio *et al.* 1999; 2003). Para evitar falsas detecciones, los algoritmos suelen incorporar el comportamiento espectral de las superficies vecinas (algoritmos contextuales). Por su parte, la presencia de nubes, el horario de adquisición de la imagen o la geometría de observación pueden ocasionar errores de omisión. Algunas metodologías también pueden mostrar los errores de sobreestimación del área afectada debido a que la capacidad de los sensores utilizados en la detección de incendios es de menor tamaño que la unidad mínima de observación -píxel- e identifican la superficie en su totalidad como afectada (Di Bella, 2008).

A pesar de estas limitaciones, los productos de focos de calor generados a partir de distintos sensores y plataformas brindan considerables ventajas asociadas a la resolución espacio-temporal, la disponibilidad, y al nivel de cobertura que ofrecen. Por medio de su utilización, se han elaborado cartografías y análisis (Giglio *et al.*, 2006). Así también, a partir de la detección de focos de calor se han podido desarrollar productos que identifican los eventos de incendios. Un evento de incendio real, debido a sus características en cuanto a tamaño y duración, puede ser representado por más de un foco de calor. Es decir, los focos continuos en espacio y tiempo son considerados como parte de un mismo evento de incendio. A partir de este producto es posible analizar la frecuencia de incendios de gran tamaño y duración a escalas regionales e incluso globales (Di Bella, 2008).

Por otro lado, es posible asociar los productos de focos de calor e incendios, con cartografías de tipos de vegetación, condiciones climáticas, tipos de uso del suelo, características topográficas, entre otras (Di Bella *et al.* 2006). De esta forma, es posible conocer y analizar los factores del medio ambiente que influyen la ocurrencia y el comportamiento de los incendios o incluso evaluar la recuperación de los distintos ecosistemas después de su ocurrencia (Di Bella *et al.* 2006; Mari *et al.* 2006; Fischer 2008).

Entre las herramientas utilizadas en la detección

de los focos de calor están los sensores *Moderate Resolution Imaging Spectro-Radiometer* (MODIS), *Terra* y *Aqua*. Las imágenes MODIS tienen 36 bandas espectrales, la resolución espacial es de 250 m, 500 m y 1000 m dependiendo de las bandas y se toma aproximadamente una imagen al día. Con base en las imágenes multiespectrales, se generan y ponen a la disposición del público productos temáticos dentro de los cuales destacan productos que describen los cambios de las coberturas del suelo y los índices de vegetación (ZHAN *et al.*, 2000 y 2002).

Las imágenes MMODIS tienen numerosas aplicaciones, desde la cartografía precisa de la cubierta nubosa y aerosoles, hasta la actividad fotosintética, detección de incendios, erupciones volcánicas, además de cartografía de la superficie marina y la cobertura de nieve. El sensor “ve” las radiaciones infrarrojas emitidas por los incendios. La información del MODIS puede ser transformada rápidamente en *Mapas Activos de Incendios*, que muestran donde están activos los incendios de bosques y hacia donde se mueven, información muy apreciada por los estrategas de la lucha contra el fuego. La resolución de 250 m da información para ver las humaredas y áreas quemadas. Giglio *et al.* (2003) ha descrito las fases para procesar imágenes MODIS en la detección de focos de calor como sigue:

- Detección de píxeles de nubes y agua, para usarlos como filtro en los pasos subsiguientes.
- Separación de una imagen compuesta por las bandas infrarrojas en píxeles de diferentes tipos (Datos perdidos, nubes, agua, sin fuego, con fuego y desconocidos).
- Identificación de potenciales focos de calor, de aquellos píxeles que fueron clasificados como fuego.
- Prueba de umbral absoluto, selección de todos los píxeles más calientes (360K).
- Examen contextual de los píxeles. Verifica cuan caliente es un píxel en relación a sus vecinos.
- Detección preliminar de fuego.
- Rechazo de píxeles de fuego que pueden estar distorsionados por destellos de sol.

Utilizando datos del número de focos de calor emitidos por las distintas quemadas, obtenidas de la base de datos del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE) del Brasil y la Dirección de Manejo de Recursos Naturales (DINAREMA) de la prefectura de Santa Cruz, imágenes on-line generados en sitios de Internet que localizan focos de calor, en ocurrencias

visibles (de al menos de 30 m de ancho x 1 m de largo), se ha estimado la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a esta actividad. Por lo que el objetivo de este artículo ha sido la de estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> de las diferentes regiones y el total del país debido a las actividades de quema e incendios realizados en el periodo del 01 de agosto al 31 de octubre de los años 2007 y 2008, debido a que en este periodo se ha observado una mayor presencia de focos de calor.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo ha tenido tres fases: a) localización de los focos de calor en base a la información alojada en internet (INPE), b) estimación del área de quema basada en la estimación del número de píxeles y su intensidad [metodología basada en la susceptibilidad a la quema, la precipitación y el riesgo a la quema (INPE, 2007)], y c) estimación del volumen de emisiones de GEI basada en la metodología del IPCC (IPCC, 1997a) en su acápite de conversión de bosques y praderas.

Bajo estas fases se han desarrollado las siguientes actividades:

- a) Realizar la ubicación de los focos de calor derivados de los satélites visualizados en los siguientes sitios: [maps.geog.umd.edu](http://maps.geog.umd.edu), [www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/](http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/), [cptec.inpe.br](http://cptec.inpe.br) y [sig.sforestal.gov.bo](http://sig.sforestal.gov.bo).
- b) Estimar el área de quema tomando en cuenta la base de datos obtenido de las anteriores fuentes y un factor de corrección. Para ello sabiendo que el satélite MMODIS-01D (en su banda 1 y 2) tiene una resolución espacial de 250x250 m, se ha asumido que existe una alta probabilidad de ocurrencia del fuego cuando su susceptibilidad a la quema es alta, la precipitación es menor a 5 mm y un riesgo a las quemadas igual a 1. En consecuencia, la existencia de un área aproximada de quema de 6,5 Ha.  
  
Por el contrario, si existiese una baja susceptibilidad a la quema, precipitaciones mayores a 5 mm, y riesgos menores a 1, las áreas de quema variarían entre 0,00313 Ha y 0,065 Ha.
- c) Estimar un factor de corrección para el área quemada en base al número de píxeles de los focos de quema, así como del número de focos de calor localizados por los sistemas de teledetección. Se ha asumido que un incendio tiene una gama de colores de R=254, G=1 y B=3, una tolerancia de 30% y un factor de corrección para la resolución de imagen para la interpolación

de píxeles a cm de 3 (según el photoshop).

El sistema del INPE, en la cual nos basamos, detecta la existencia de fuego en la vegetación sin tomar en cuenta el tamaño del área afectada (INPE, 2007). En este sentido se han considerado las siguientes características: Según el INPE (2007), los satélites utilizados para localizar los focos del calor son: NOAA-12, NOAA-15, NOAA-16, NOAA-17, NOAA-18 en su versión de imágenes AVHRR; las imágenes geoestacionarias de GOES-10, GOES-12 y MSG-2, y en la versión MODIS, los satélites polares NASA TERRA y AQUA. De las cuales, esta última, ha sido tomada en cuenta para realizar el presente reporte.

La corrección ha sido necesaria porque como elemento de resolución espacial (píxel) el satélite puede tener 1 km x 1 km, lo que indicaría que un incendio de algunas decenas de m<sup>2</sup> sería identificada por lo menos de 1 km<sup>2</sup>. Las imágenes MODIS detectan frentes de al menos 250x250m, que bien podrían ser frentes de 30 m<sup>2</sup>. Las imágenes de satélites geoestacionarios tienen una resolución de 4Km x 4Km por cada píxel, por lo que un pequeño incendio pasaría a ser detectada de por lo menos 16 Km<sup>2</sup> (en consecuencia, con la metodología utilizada en el presente trabajo, no se puede decir que un foco de calor representa un píxel).

- d) Se asumió los datos por defecto del IPCC de contenido de carbono y oxidación de la biomasa (IPCC, 1997a) y los datos de biomasa existente antes y después de la conversión, utilizados para el cálculo de emisiones y reportados por el MDS-VRNMA-PNCC (2003).
- e) Se aplicó la metodología del IPCC de 1996 utilizando la “*Conversión de bosques y praderas - CO<sub>2</sub> procedente de la biomasa*” y la correspondiente a praderas “*Quema prescrita de sabanas*” (tablas 2, 3, 4 y 5).

Para la estimación de las emisiones debidas a la quema se ha revisado el periodo entre el 01 de agosto al 31 de octubre del 2007 y 2008, por la mayor detección de focos de calor en este periodo en relación al resto del año, por lo que se ha considerado los siguientes puntos:

- 1) Ha existido un cambio en la biomasa debido a su quema (la que fue calculada en base a la biomasa quemada *in situ*). La estratificación existente en el sitio de quema se ha identificado
- 2) Los satélites utilizados por el INPE pueden detectar frentes de fuego de al menos 30 m de

ancho y 1 m de largo y hasta un máximo de 250 m ancho x 250 m de largo.

- 3) La fracción de biomasa quemada *in situ* y fuera de bosques es 50% y en el resto 90%.
- 4) La fracción de biomasa oxidada *in situ* se ha tomado del inventario de Gases de Efecto Invernadero del 2000 que ha dependido de la zona en la que se ubica la quema.
- 5) La fracción de carbono de la biomasa aérea es 50%.
- 6) La fracción de biomasa quemada fuera del bosque es 3%.
- 7) Como se ha utilizado las tablas de cálculo del IPCC, el valor de “*Carbono liberado por la descomposición de la biomasa*” ha sido cero.
- 8) Con base en referencias bibliográficas, se estimaron los valores de biomasa presentes en cada tipo de vegetación, muy especialmente la investigación realizada por BOLFOR (2000), por lo que se tomaron en cuenta los valores correspondientes a la biomasa consumida en los diferentes estratos existentes en los tipos de vegetación consumidas por el fuego:

Árboles con diámetros de tronco mayores a 40 cm, pueden quemarse hasta un 17% de su estructura, entre 10 y 40 cm, hasta un 27% y árboles con un diámetro de tronco menores 10 cm pueden perder hasta un 74% de su estructura debido al efecto de los fuegos.

Por otro lado, en base a lo anterior, se asumió que el combustible que se quema efectivamente en la época de chaqueo, en las zonas con un índice de aridez mayor a 0,70 es menor a 0,25% de la biomasa existente y una superficie menor a 19%, y en las zonas de un índice de aridez menor a 0,20 es menor a 0,50% respecto de la biomasa existente y una superficie en la que se quema en su totalidad.

Para todos los casos, al final se aplica las relaciones de *unidades de CO<sub>2</sub> a unidades de CO<sub>2</sub> equivalente* por gas: 21 para metano, 310 para óxido nítrico, 0,005 para el monóxido de carbono, y 3 para los óxidos de nitrógeno. Los primeros dos basados en las tablas de equivalencias del IPCC y los dos últimos, en las publicaciones del PNCC (MDS-VRNMA-PNCC, 2003).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

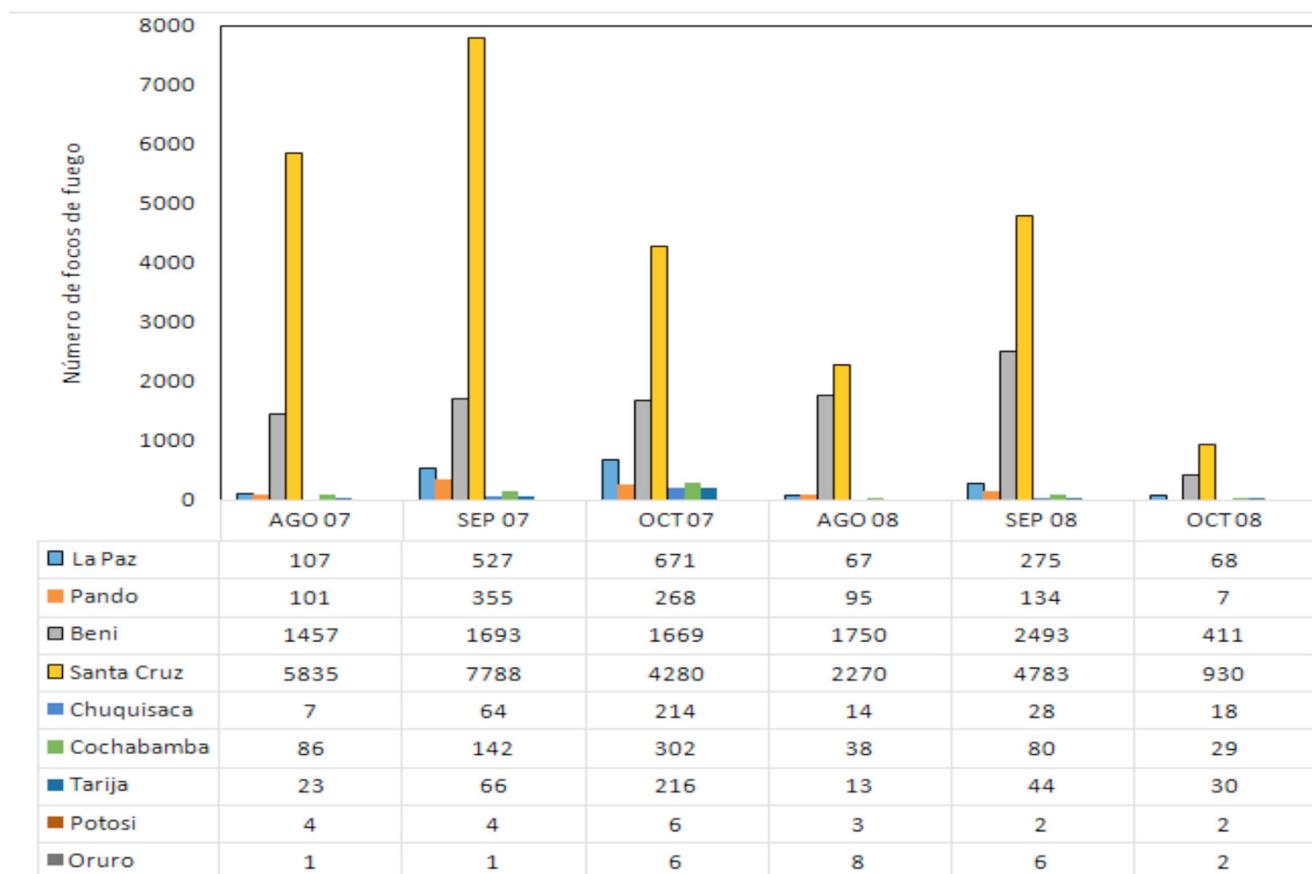
### Número de focos de calor encontrados en Bolivia en el periodo de 01 de agosto al 31 de octubre de 2007 y 2008

Los focos de calor detectados por el satélite MMODIS-01D entre el 01 de agosto al 31 de octubre del 2007 y 2008 se muestran en la Fig. 1. Estos resultados manifiestan que la mayor concentración de quemados ha estado presente en el oriente boliviano (Santa Cruz, Beni y Norte de La Paz). Se observa que en el 2007, en Santa Cruz ha ocurrido un 69% en promedio sobre el total de focos de calor encontrados en el periodo indicado en relación al total del país; en el 2008 fue del 59%. El segundo departamento con mayor número de focos de calor ha sido el Beni. En el 2007 se ha observado 19%, y en el 2008 33%. El tercer departamento con mayor número de focos de

calor ha sido de La Paz con 4% el 2007 y 3% del 2008.

Acumulativamente, en el 2007, se ha observado 28.592 focos de calor en todo el país, de los cuales 25.893 han sido avistados en el trimestre de agosto, septiembre y octubre, lo que significa un 91%, sobre el total de focos sucedidos en el año. En el 2008 se han observado en total 16.662 y 13.600 focos de calor en el mismo trimestre, significando un 82% sobre el total de focos observados ese año.

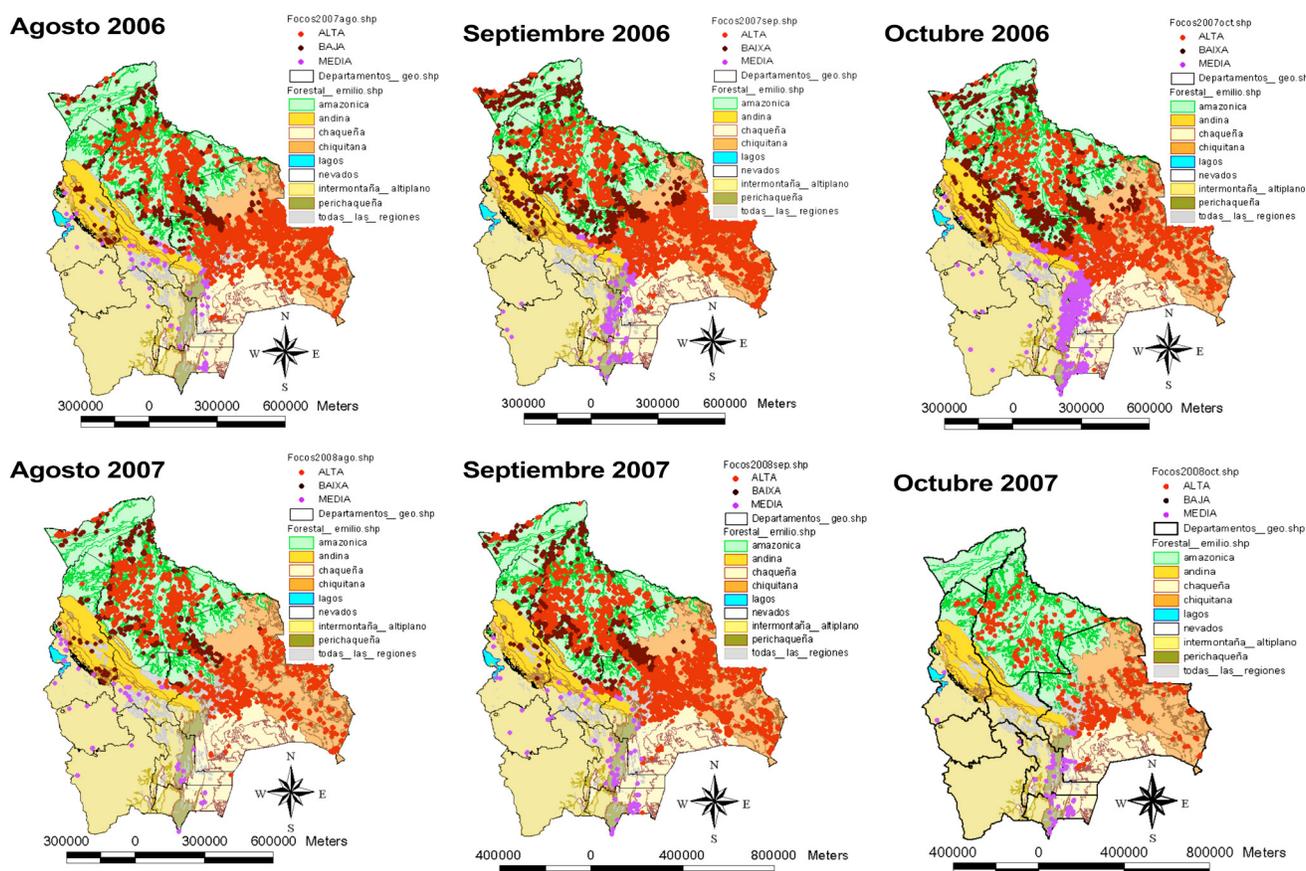
Santa Cruz y Beni, son invariablemente los sitios en donde han sido localizadas la mayor parte de quemados, probablemente para ampliar la frontera agrícola o regenerar las pasturas con las siguientes lluvias. En el mismo periodo, los departamentos en el que se ha registrado menos cantidad de focos de calor han sido en los departamentos de Oruro y Potosí.



**Figura 1.** Focos de calor observados del 01 de agosto al 31 de octubre de 2007 y 2008 en los departamentos de La Paz, Santa Cruz, Beni, Cochabamba, Chuquisaca, Tarija y Pando, basadas en los satélites del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil (INPE).

En el 2007, del total de focos de calor observados en el país en el periodo indicado, 67,54% han tenido intensidad alta y 24,71% intensidad baja; entre los focos de calor localizados con alta intensidad, se ha observado que 51,04% han ocurrido con la presencia de al menos 6 mm de precipitación (en probabilidad). Son 25 días en promedio de ausencia de precipitación y un riesgo de 0,94 en promedio (es decir, un alto riesgo, por la poca precipitación, y días sin lluvia significativos); por el contrario, los focos de calor localizados con baja intensidad, al menos 25,82% ha tenido precipitaciones mayores a 6 mm, 17 días en promedio de ausencia de lluvias y un riesgo de 0,79. En el 2008, del total de focos de calor observados

en el país en el trimestre mencionado, 80,93% han tenido intensidad alta y 17,13% intensidad baja; entre los focos de calor localizados con alta intensidad, se ha observado que 56,91% han ocurrido con precipitaciones menores a 6 mm (en probabilidad). Son 31 días en promedio de ausencia de precipitación y un riesgo de 0,98 en promedio (es decir, un alto riesgo, por la poca precipitación, y días sin lluvia significativos); a diferencia de la anterior, los focos de calor localizados con baja intensidad, al menos 20,71% ha tenido precipitaciones menores a 6 mm, 9 días en promedio de ausencia de lluvias y un riesgo de 0,78.



**Figura 2.** Evolución de los focos de calor observadas en el periodo de Agosto a Octubre del 2007 y 2008, localizadas a través del satélite MMODIS-01D que utiliza el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil (INPE).

**Tabla 1.** Evolución de los focos de calor en Bolivia por departamento, localizadas a través de los satélites NOAA (15, 15D, 12, 12D, 14, 16, 17, 18D) y MMODIS-01D que utiliza el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil (INPE, 2007 y 2008).

Departamento	Año										Total
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Santa Cruz	4.813	2.142	879	2.056	10.436	83.052	26.236	30.257	28.660	16.553	<b>205.084</b>
Beni	4.470	3.406	1.672	1.519	10.811	47.123	34.646	15.793	7.701	8.560	<b>135.701</b>
Pando	s/d	13	8	11	628	2.000	2.650	1.101	1.141	333	<b>7.885</b>
La Paz	s/d	s/d	s/d	38	1.017	2.967	2.368	1.336	2.046	861	<b>10.633</b>
Tarija	s/d	s/d	s/d	23	603	1.142	837	504	563	267	<b>3.939</b>
Chuquisaca	s/d	s/d	s/d	1	545	787	387	175	321	93	<b>2.309</b>
Cochabamba	s/d	6	2	6	426	1.852	1.186	368	681	71	<b>4.598</b>
Potosí	s/d	s/d	s/d	2	104	100	65	11	34	31	<b>347</b>
Oruro	s/d	s/d	s/d	10	68	111	97	48	48	71	<b>453</b>
<b>Total</b>	<b>9.283</b>	<b>5.567</b>	<b>2.561</b>	<b>3.666</b>	<b>24.638</b>	<b>139.134</b>	<b>68.472</b>	<b>49.593</b>	<b>41.195</b>	<b>26.840</b>	<b>370.949</b>

Los focos de calor de mayor intensidad han sido localizados mayormente en el departamento de Santa Cruz, principalmente en los municipios de Pailon, San Ignacio de Velasco, San José de Chiquitos, San Julian, San Matías, San Rafael, totalizando 43% en el 2007 y Pailon, San Ignacio de Velasco, San José de Chiquitos y San Matias totalizan 62% sobre el total de quemas producidas en el país entre agosto y octubre del 2008 (Fig. 2). Bajo esta intensidad de calor, el mayor número de focos de calor localizados en el Beni (municipio de Exaltación con 173) y en La Paz (municipio de Ixiamas con 353 focos de calor) en el 2007. En el 2008, la mayor parte de focos fue observada en Santa Cruz (municipio de Pailon con 1.329 focos de calor y San Javier con 499 focos de calor). En la Fig. 2 se puede apreciar, que los focos de calor han incidido sobre todo en el Bosque Seco Chiquitano y las Sabanas del Beni.

Sin embargo, así como la evolución espacial ha sido importante, también ha sido importante la evolución temporal de los focos de calor localizados por los satélites NOAA y MMODIS (tabla 1). Esta evolución nos muestra que a partir de 1999, la cantidad de focos de calor se ha ido incrementando hasta en 4 veces más comparándolo con los encontrados en el 2007. La evolución más importante se ha visto en Santa Cruz y Beni, con más del 87% de incrementos localizados en Bolivia en el periodo referido. Los departamentos en los que menos focos de calor se han observado han sido Potosí y Oruro.

Las ocurrencias anuales de los focos de calor han mostrado un decremento a partir del 2004. Se ha observado una diferencia de 50,71% aproximadamente con relación al 2005, 64,35% respecto del 2006, 70,39% con respecto al 2007 y 80,71% en relación al 2008. Probablemente debido a que las quemas

ilegales han disminuido y los controles realizados han mejorado su capacidad estimada. Es decir, los productores agrícolas han solicitado permiso para realizar una quema y seguir un protocolo de fuego controlado.

Aunque Pando y La Paz, han presentado una cantidad importante de focos de calor en comparación a los otros departamentos, no han sido tan importante como los presentados por los departamentos de Santa Cruz y Beni. Realizando el análisis de los años, en este periodo, se observa que ha existido una mayor presencia de focos de calor en determinados departamentos. En el 2004 en el departamento de Santa Cruz; con 59%; en el 2005 en Beni, con 55%; en el 2006 en Santa Cruz, con 59%; en el 2007, también este departamento, con 70% y en el 2008 con 55%, todos con relación al total de focos avistados en el año.

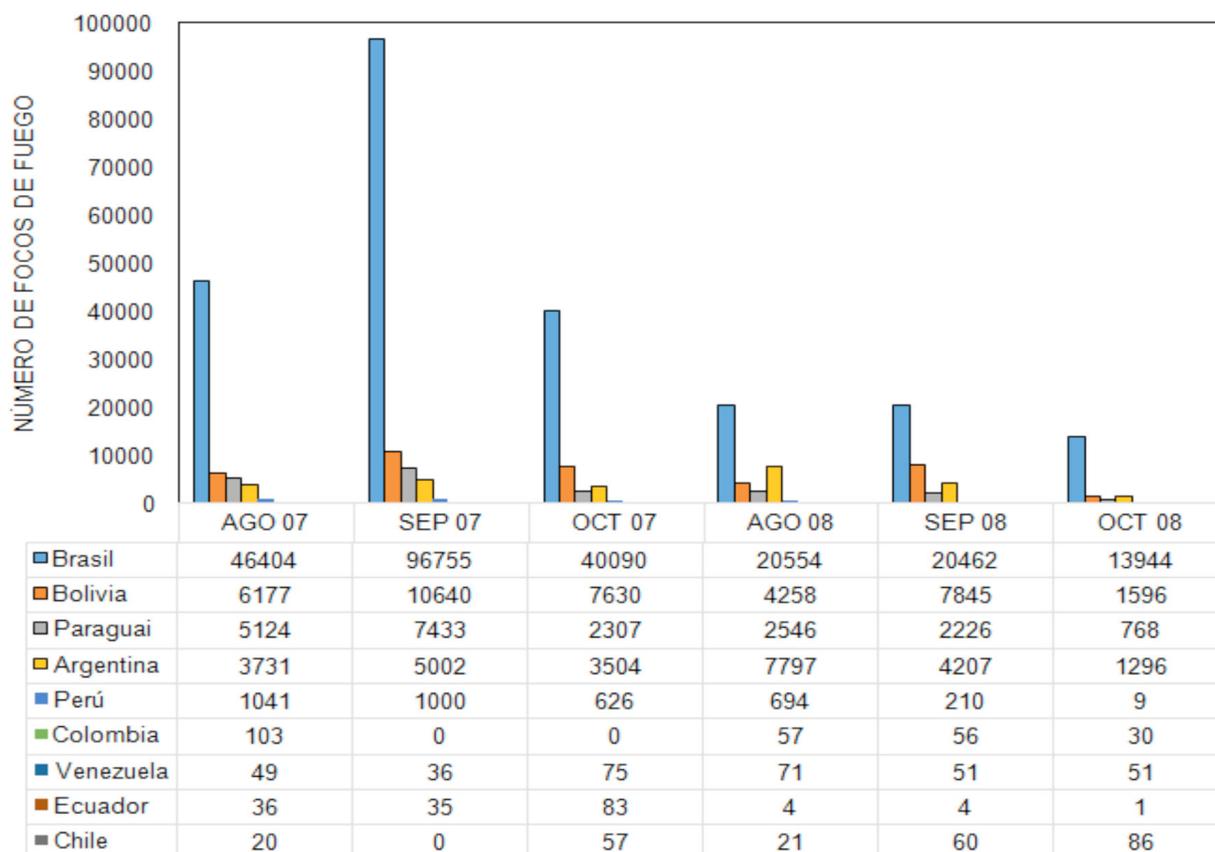
La mayor cantidad de focos de calor ocurridos en el año, han sido observados en los meses de agosto, septiembre y octubre, época en el que se realizan mayoritariamente la conversión de tierras para actividades de tipo agrícola o ganadera.

#### **Número de focos de calor encontrados en países de Sudamérica en el periodo de Agosto a Octubre del 2007 y 2008**

Los focos de calor detectados por el satélite MMODIS-01D en los países vecinos son mostrados en la Fig. 3. Estos resultados muestran que la mayor concentración de quemas han estado localizado en Brasil, con un total de 183.249 focos (representado el 76,99%) el 2007 y 54.960 focos (representando el 61,77%) el 2008, en relación al total de focos de calor producidos en los países latinoamericanos. Bolivia

ha representado un 10,27% en el 2007 y 15,40% en el 2008. Los focos de calor en Brasil han estado localizados en la zona Amazónica, principalmente en los estados de Mato Grosso do norte, Rondonia, Mato Grosso do Sul, y Acre (totalizando mas del 60% de focos de calor observados en octubre, el mes en el que se observan mayores cantidades de focos de calor en el continente), los cuales pertenecen a la región de

bosque húmedo amazónico. Lo que significaría que una gran parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera y que se hacen presentes en el este de Bolivia, provienen en su mayoría de los focos de calor detectados en la frontera con Brasil y el suroeste de este país. Los países con menor cantidad de focos de calor localizados en este periodo han sido Venezuela, Colombia, Chile y Ecuador.



**Figura 3.** Focos de calor observados del 01 de Agosto al 31 de octubre de 2007 y 2008 en diversos países de Sudamérica, basado en el satélite MMODIS-01D que utiliza la base de datos de focos de calor del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil (INPE).

Realizando el análisis de los focos de calor acumulados del 01 de agosto al 31 de octubre del 2007 y 2008, localizados por el satélite MMODIS, se observa claramente las áreas afectadas por las quemaduras durante este periodo. Se observa una influencia en zonas de estrato bajo y alto; así mismo, las quemaduras han afectado dos zonas fitogeográficas: *Bosque Seco Chiquitano* y las *praderas de Moxos*. Según BOLFORD (2000) señala que el 57% de áreas afectadas por incendios forestales se ha localizado en las sabanas, sólo el 31,21% han sido localizados en el Bosque Chiquitano y Bosque Amazónico en conjunto. Además nos indica, que de las sabanas dependiendo del tipo de vegetación el porcentaje de biomasa consumida es mayor en un campo

limpio (97% de biomasa consumida), seguido de un campo sujo (92%) (Macroserie infra-termotropical pluviestacional subhúmeda de *Qualea grandiflora* y *Caryocar brasiliensis* de provincias biogeográficas del Cerrado y Beniana) (Navarro, 1997) y un campo cerrado (84%). Por otro lado, indican que en un bosque Chiquitano o Bosques un poco más húmedos, el porcentaje de biomasa quemada es mayor en árboles con diámetros menores a 10 cm (74%), seguido de árboles entre 10-40 cm de diámetro (27%) y árboles con diámetros mayores a 40 cm (16%).

Si analizamos los periodos en el cual la cantidad de focos es menor, periodo comprendido entre 01 de enero al 03 de octubre, en los años 2004, 2005, 2006

y 2007, se ha observado una ocurrencia de fuegos similar en comportamiento, como se muestra en la Fig. 4. En esta figura se puede observar que con relación a los países vecinos, las mayores ocurrencias han sido observadas en Brasil, con más del 70% en el 2004, 71% en el 2005, 60% en el 2006, 67% en el 2007 y 50,11% en el 2008.

### **Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el periodo del 01 de septiembre a 31 de octubre del 2007 y 2008**

Para realizar el análisis de la emisión de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera, debido a las quemaduras en el periodo de preparación del terreno para actividades agrícolas como ganaderas, se ha elegido un periodo base que comprende entre el 01 de septiembre al 31 de octubre, tanto en el 2007 y el 2008. En este periodo se ha identificado el mayor número de focos de calor y coincide con el periodo de preparación o habilitación de la tierra.

Para este análisis se han sustraído las quemaduras ocurridas en las praderas naturales también llamadas de sabanas (diferencia entre el total de focos de calor con el número de focos de calor encontrados en las sabanas). Las praderas cuentan con un mayor porcentaje de pastos, lo cual le da un carácter nulo de emisión de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera (las praderas emiten el CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera en el momento de la quema, y vuelven a acumular este CO<sub>2</sub>, durante la época de crecimiento, al siguiente año, recuperando la biomasa perdida), razón por la que no se contabiliza las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Así mismo, se ha considerado que los focos de calor localizados en los bosques tienen tres substratos, por lo cual se ha considerado un factor de corrección en estos focos, en base a que los árboles de diámetros mayores a 40 cm queman hasta un 16% de su biomasa, árboles entre 10 y 40 cm de diámetro queman hasta un 27% de su biomasa y árboles entre menores a 10 cm de diámetro queman hasta un 74% de su biomasa (BOLFORD, 2000) (Fig. 5).

Los resultados de estas estimaciones, muestran en el 2007: una emisión de 2.625,67 Gg de CO<sub>2</sub> (unos 2.625.669,05 ton de CO<sub>2</sub>) liberados hacia la atmósfera, debida a la quema localizada en 64.462,37 Ha aproximadamente, en el cual se ha estimado 4.031.727,35 ton de biomasa quemadas aproximadamente y 18.268 focos de calor de distinta magnitud (que variarían desde 30 m<sup>2</sup> a 1 km<sup>2</sup> de superficie aproximadamente) y localizadas por el satélite MODIS. En el 2008, se ha tenido una

emisión de 598,17 Gg de CO<sub>2</sub> (unos 598.172,73 ton de CO<sub>2</sub>) liberados hacia la atmósfera, debida a la quema localizada en 34.449,78 Ha aproximadamente, en el cual se ha estimado 918.921,15 ton de biomasa quemadas aproximadamente y 9.441 focos de calor de distinta magnitud.

Los resultados muestran que la generación de CO<sub>2</sub>, ha tenido niveles de variación importantes a los observados en anteriores episodios y en el mismo periodo de revisión. Al realizar una evaluación de las magnitudes, se ha visto que en los inventarios de 1990 a 2000, se observa (sin la inclusión de los resultados del *Carbono liberado por la descomposición de la biomasa*) que existe un rango anual aproximado de 22.091,56 a 32.388,06 Gg de CO<sub>2</sub> liberados hacia la atmósfera (Fuente: base de datos de 1990 a 2000); 8% de las emisiones totales estarían explicadas por las actividades realizadas en el periodo en estudio. Esto es relevante, ya que se deduce que la mayor parte de emisiones debidas a la quema se encuentra en los meses de agosto, septiembre y octubre de todos los años. Estas quemaduras coinciden con las labores de preparación de la tierra para propósitos agrícolas y pecuarias y quemaduras para promover el rebrote de pastizales y el periodo con bajas probabilidades de precipitación, sobre todo en la región del oriente, más específicamente en las sabanas del Beni, los Bosques Chiquitanos Secos, y donde la deforestación ha sido intensa desde 1976 según datos de la UDAPE (UDAPE, 2005). En consecuencia, estos resultados muestran que las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector de *Uso de la Tierra y Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura* (LULUCF por sus siglas en inglés) en este periodo están en directa relación con la biomasa quemada.

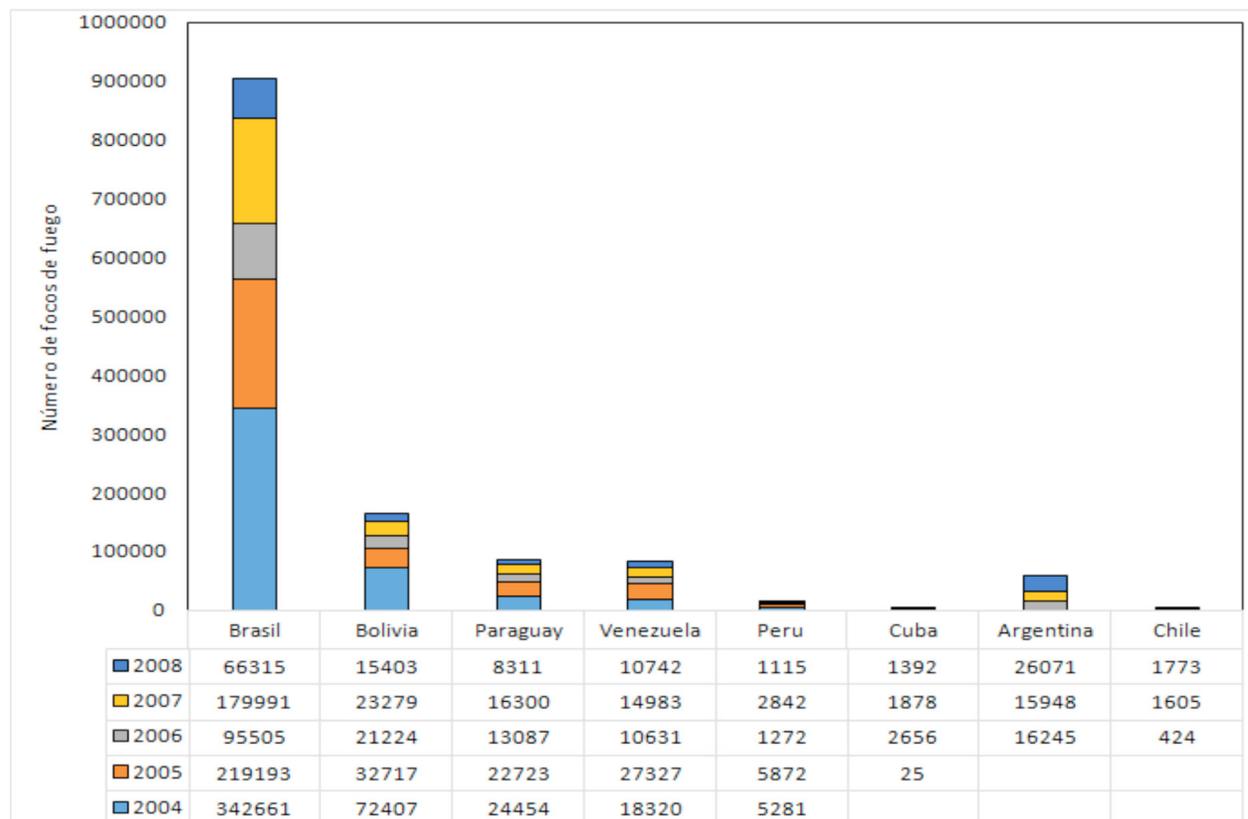


Figura 4. Focos de calor observados en diferentes países de Sudamérica en el periodo 01 de Enero al 03 de octubre de 2004, 2005, 2006, 2007 y 2008, localizadas a través del satélite MMODIS que utiliza el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil (INPE).



Figura 5. Focos de calor mostrando las quemas realizadas en: (a) praderas o pastizales, que no se han incluido en la emisión de CO<sub>2</sub>, y (b) bosques, en los cuales se pueden observar la quema de los diferentes estratos y diferentes diámetros de árboles (Fuente: Dirección General de Recursos Forestales, MDRAyMA).

**Tabla 2.** Estimación aproximada de la cantidad de carbono liberado resultado de las quemas y chaqueo en el periodo entre el 01 de agosto y 31 de octubre del 2007.

MODULO: CAMBIO DE USO DE SUELO						
SUBMODULO: Conversión de bosques y praderas - CO <sub>2</sub> proveniente de la Biomasa						
HOJA: 2 de 5 emisiones de carbono procedentes de la quema in situ						
PASO 1						
Tipos de Tierra	Fracción de la Biomasa quemada in situ	Cantidad de Biomasa quemada in situ (kt ms) G=fracción x quemada	Fracción de Biomasa oxidada in situ	Cantidad de Biomasa oxidada in situ (kt ms) I = (G x H)	Fracción de carbono de la biomasa aérea (quemada in situ)	Cantidad de carbono liberado (de la biomasa quemada) (kt C) K= (I x J)
Amazonía	0,9	3625,25	0,3796	1376,15	0,5	688,07
Chiquitanía	0,9	2,27	0,3220	0,73	0,5	0,36
Chaco	0,9	0,01	0,6770	0,01	0,5	0
Andina	0,9	1,02	0,9000	0,92	0,5	0,46
<b>TOTAL</b>						<b>688,89</b>

**Fuente:** Elaboración propia en base las hojas de cálculo de emisiones del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) y sugerencias técnicas del equipo del Programa Nacional de Cambios Climáticos (PNCC).

**Tabla 3.** Estimación aproximada del carbono total liberado por la quema del bosque resultado de las quemas y chaqueo en el periodo entre el 01 de agosto y 31 de octubre del 2007.

MODULO: CAMBIO EN EL USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA							
SUBMODULO: Conversión de bosques y praderas - CO <sub>2</sub> proveniente de la Biomasa							
HOJA: 3 de 5 emisiones de carbono procedentes de la quema fuera del bosque							
PASO 2							
Tipos de Tierra	Fracción de la Biomasa quemada fuera del bosque	Cantidad de Biomasa quemada fuera del bosque (kt ms) M=(E x L)	Fracción de Biomasa oxidada fuera del bosque	Cantidad de Biomasa oxidada fuera del bosque (kt ms) O = (M x N)	Fracción de carbono de la biomasa aérea (quemada fuera del bosque)	Cantidad de carbono liberado (de la biomasa quemada fuera del bosque) (kt C) Q= (O x P)	Carbono total liberado (de la quema in situ y fuera del bosque) (kt C) R= (K + Q)
Amazonía	0,03	108,76	0,5	54,38	0,5	27,19	715,26
Chiquitanía	0,03	0,00	0,9	0,00	0,5	0,00	0,36
Chaco	0,03	0,00	0,9	0,00	0,5	0,00	0
Andina	0,03	0,00	0,9	0,00	0,5	0,00	0,46
<b>TOTAL</b>		<b>108,76</b>					<b>716,08</b>

**Fuente:** Elaboración propia en base las hojas de cálculo de emisiones del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) y sugerencias técnicas del equipo del Programa Nacional de Cambios Climáticos (PNCC).

**Tabla 4.** Estimación aproximada del total anual de CO<sub>2</sub> liberado por la quema in situ y fuera del bosque resultado de las quemas y chaqueo en el periodo entre el 01 de agosto y 31 de octubre del 2007.

MODULO:	CAMBIO EN EL USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA		
SUBMODULO:	Conversión de bosques y praderas - CO <sub>2</sub> procedente de la Biomasa		
HOJA:	5 de 5 Resumen y conversión a CO <sub>2</sub>		
PASO 3			
A	B	C	D
Liberación inmediata procedente de la combustión	Emisiones diferidas procedentes de la descomposición	Total anual del Carbono Liberado	Total Anual CO <sub>2</sub> liberado
	(Kt C)	(Kt C)	(Gg CO <sub>2</sub> )
	(promedio de 10 años)	C=A+B	D=Cx(44/12)
716,09	0,00	716,09	2625,67

**Fuente:** Elaboración propia en base las hojas de cálculo de emisiones del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) y sugerencias técnicas del equipo del Programa Nacional de Cambios Climáticos (PNCC).

**Tabla 5.** Estimación aproximada del total anual de CO<sub>2</sub> liberado por la quema in situ y fuera del bosque resultado de las quemas y chaqueo en el periodo entre el 01 de agosto y 31 de octubre del 2008.

MODULO:	CAMBIO EN EL USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA		
SUBMODULO:	Conversión de bosques y praderas - CO <sub>2</sub> procedente de la Biomasa		
HOJA:	5 de 5 Resumen y conversión a CO <sub>2</sub>		
PASO 3			
A	B	C	D
Liberación inmediata procedente de la combustión	Emisiones diferidas procedentes de la descomposición	Total anual del Carbono Liberado	Total Anual CO <sub>2</sub> liberado
	(Kt C)	(Kt C)	(Gg CO <sub>2</sub> )
	(promedio de 10 años)	C=A+B	D=Cx(44/12)
163,14	0,00	163,14	598,17

**Fuente:** Elaboración propia en base las hojas de cálculo de emisiones del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) y sugerencias técnicas del equipo del Programa Nacional de Cambios Climáticos (PNCC).

**Tabla 6.** Estimación aproximada gases diferentes al CO<sub>2</sub> por la quema in situ y fuera del bosque resultado de las quemas y chaqueo en el periodo entre el 01 de agosto y 31 de octubre del 2007.

PASO 1		PASO 2						
A	B	C	D	E	F	G	H	
Cantidad de Carbono Liberado (kt C)	Relación Nitrógeno - Carbono	Total de Nitrógeno Liberado (kt N)	Tipos de Gases distintos al CO <sub>2</sub>	Relaciones de emisión de los gases distintos al CO <sub>2</sub>	Emisiones de gases distintos del CO <sub>2</sub> (kt C)	Relación de Conversión	Emisiones de la quema de Bosques talados (Gg CH <sub>4</sub> , CO....)	Emisiones equivalentes debido a la quema (Gg CH <sub>4</sub> , CO....)
de la columna K, hoja 2 de la hoja de trabajo 5-2		$C=(A \times B)$			$E=(A \times D)$		$G=(E \times F)$	$G=(E \times F)$
688,9			CH <sub>4</sub>	0,012	8,267	1,33	11,02	231,47
688,9			CO	0,060	41,334	2,33	96,45	0,48
					(ktm N)			
					$E=(C \times D)$			
688,9	0,01	6,89	N <sub>2</sub> O	0,007	0,048	1,57	0,08	23,49
688,9	0,01	6,89	NO <sub>x</sub>	0,121	0,834	3,29	2,74	8,22

**Fuente:** Elaboración propia en base las hojas de cálculo de emisiones del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) y sugerencias técnicas del equipo del Programa Nacional de Cambios Climáticos (PNCC).

En la tabla 6 se muestran las emisiones de gases distintos de CO<sub>2</sub>. Las emisiones equivalentes en el 2007, muestran que el CH<sub>4</sub> es el que en mayor proporción se emite, seguido del N<sub>2</sub>O, los cuales se emiten en 231,47 Gg CO<sub>2</sub>-eq, y 23,49 Gg CO<sub>2</sub>-eq, respectivamente. Esto nos indica que el gas más importante en la emisión de gases distintos del CO<sub>2</sub> es el CH<sub>4</sub>. Las emisiones equivalentes en el 2008, muestran una emisión de 52,73 Gg de CH<sub>4</sub> y 5,35 Gg de N<sub>2</sub>O.

### Quema de biomasa

Los resultados de la emisión del CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera presentados en este estudio, pueden tener cierto sesgo, principalmente debidas a la estimación de la biomasa y el área en el que se produce. Estos datos se han trabajado con suposiciones que están basadas en la explicación de las características de los satélites con el que el INPE trabaja; así mismo, el

trabajo de cálculo del área ha supuesto la existencia de un foco de calor con un rango de 30 m<sup>2</sup> de acción aproximadamente, por lo que los fuegos mas pequeños seguramente no han sido tomados. Para evitar solapamientos se ha tomado un satélite que fue el MODIS.

Las emisiones de gases de efecto invernadero han estado relacionadas directamente a la cantidad de biomasa quemada (tabla 7). Las mayores cantidades de biomasa quemada también han ocasionado los mayores números de focos de calor. De hecho, se ha observado que existe una relación directa de la biomasa quemada y las emisiones de CO<sub>2</sub> de aproximadamente 0,27; es decir, por cada cuarto de tonelada de carbono liberado debido a las quemas, se libera una tonelada de CO<sub>2</sub> aproximadamente.

## CONCLUSIONES

Con la utilización de herramientas de libre acceso, como el Internet, para identificar el número de focos de calor detectados por diferentes satélites, se ha estimado la cantidad de dióxido de carbono emitido por las actividades antropogénicas en el periodo de preparación de la tierra en nuestro país. Consecuentemente, este trabajo ha dado lugar a las siguientes conclusiones:

- a) Existe una variación de los resultados obtenidos con el MMODIS 01D, utilizado para el análisis de este documento, en comparación con los resultados de otras instituciones.
- b) Los meses en el que mayor número de focos de calor se observan son: agosto, septiembre y octubre.
- c) Las emisiones más importantes en este periodo, provienen de los departamentos de Santa Cruz y Beni.
- d) Entre el 01 y 03 de octubre, existió una reducción de los focos de calor en una proporción de 163% en el 2007 con relación al 2004, de 65% en el 2005 y 35% en el 2006 con relación al 2004.
- e) Las tendencias de las emisiones anuales, debido a las quemaduras, se han reducido hasta en un 211% de 2004 a 2007. La reducción más importante se ha localizado en Beni, con 418% (de 25.892 focos en el 2004 a 4.449 focos en el 2007).
- f) Existe una relación directa de la biomasa perdida y las emisiones de CO<sub>2</sub> de aproximadamente 0,85, es decir, por cada tonelada de biomasa quemada, se libera una tonelada de CO<sub>2</sub>, aproximadamente.
- g) Existe una relación directa del carbono liberado y las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- h) Según este documento, a nivel de todo el país, en el periodo de la preparación de tierras se emite un 8% aproximadamente del total emitido anualmente (2.625,67 Gg de CO<sub>2</sub> en el 2007 y 598,17 Gg de CO<sub>2</sub> en el 2008).

## AGRADECIMIENTOS

Esta revisión ha sido realizado gracias a la información de instituciones que trabajan en el monitoreo de fuegos como la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierra, Dirección General de Recursos Forestales, DIMAREMA, INPE/CPTEC del Brasil, de las cuales se ha obtenido información colocadas

en sus páginas de internet. También se agradece el aporte del equipo técnico y la revisión del equipo del Ex- Programa Nacional de Cambios Climáticos.

## BIBLIOGRAFÍA

- BOLFOR-Corporación Andina de Fomento. 2000. Determinación del daño causado por los incendios forestales ocurridos en los Departamentos de Santa Cruz-Beni en los meses de agosto y septiembre de 1999. Informe de trabajo. 46p.
- Di Bella, C.M., Jobbágy, E.G., Paruelo, J.M. Pinnock, S. 2006. Fire density controls in South America. *Global Ecology and Biogeography* 15:192-199.
- Di Bella, C.M. Posse, G., Beget, M.E., Fischer, M.A., Mari, N., Veron, S. 2008. La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones. *Ecosistemas* 17 (3). Septiembre 2008.
- FAO. 2005. Global Forest Resources Assessment 2005 – Thematic report on forest fires in the South American Region. Forest Fire Management Working Paper 5. [www.fao.org/forestry/site/fire-alerts/en](http://www.fao.org/forestry/site/fire-alerts/en)
- FAO. 1998. Reunión Sobre Políticas Públicas que Afectan a los Incendios Forestales. Roma, Italia, 28 al 30 de octubre. En: [http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/DOCREP/003/X2095S/x2095s0x.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/003/X2095S/x2095s0x.htm). [Consulta 15 de junio de 2007].
- Giglio L., Kendall J.D., Justice C.O. 1999. Evaluation of global detection algorithms using simulated AVHRR infrared data. *International Journal of Remote Sensing* 20:1947-1985.
- Giglio, L., J. Descloitres, C. Justice, Y. Kaufman. 2003. An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS. *International Journal of Remote Sensing of Environment* 87: 273–282.
- Giglio, L., van der Werf, G.R., Randerson, J.T., Collatz, G.J., Kasibhatla, P.S. 2006. Global estimation of burned area using MODIS active fire observations. *Atmospheric Chemistry and Physics* 6:957-974.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) 2007. DBQuemadas: Monitoramento de focos. División de procesamiento de Imágenes. [Visitado el 24 de marzo del 2008: [http://www.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/pub\\_queimadas.pdf](http://www.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/pub_queimadas.pdf); <http://sigma.cptec.inpe.br/produto/queimadas/queimadas/perguntas.html>]
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 1997a. Revised 1996 IPCC Guidelines

- for National Greenhouse Gas Inventories: Reporting Instructions, Volume 1, J.T. Houghton et al., IPCC/ Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)/ International Energy Agency (IEA), Bracknell, United Kingdom.
- IPCC. 1997b. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook, Volume 2, J.T. Houghton et al., IPCC/OECD/IEA, Bracknell, United Kingdom.
- IPCC. 1997c. Expert Group Meeting on Methods Biomass Burning and Land-use Change and Forestry, Meeting Report, IPCC/OECD/IEA Programme on National Greenhouse Gas Inventories, Rockhampton, Australia, 15-18, September 1997.
- IPCC. 1997d. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual, Volume 3, J.T. Houghton et al., IPCC/OECD/IEA, Bracknell, United Kingdom.
- IPCC. 2000. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Jim Penman et al., Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan.
- Ministerio de Desarrollo Sostenible, Viceministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Programa Nacional de Cambios Climáticos (MDS-VRNMA-PNCC). 2003. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Bolivia para la Década 1990-2000 y su Análisis Tendencial. 218 p.
- Navarro, G. 1997. Contribución a la Clasificación Ecológica y Florística de los Bosques de Bolivia. *Rev. Bol. De Ecol.* 2:3-37, 1997.
- Organización Panamericana de la salud. 2007. Quemadas y chaqueos se registran en más de mil áreas del país. [Visitado el 18-04-08: <http://salud.ops.org.bo/servicios/?DB=B&S11=12915&SE=SN>]
- Sandoval, M. Y. 2003. Monitoreo de Quemadas de Pastizales y Cuantificación de Superficies Devastadas por incendios Forestales Mediante Imágenes NOAA-AVHRR y LANDSAT ETM 7+. X Conferencia Latinoamericana de Usuarios SIG/10, 11 y 12 del 2003. Santa Cruz Bolivia.
- Superintendencia Agraria. 2001. Monitoreo de focos de calor [Visitado el 18-04-08: <http://www.sia.gov.bo/SIS74.asp.htm>; [http://www.correodelsur.net/2005/0927/w\\_nacional9.shtml](http://www.correodelsur.net/2005/0927/w_nacional9.shtml)]
- Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas (UDAPE). 2005. Documentos Sectoriales: Sector Forestal (1990 – 2004). 50p.
- Zhan, X., Sohlberg R. A., Townshend J. R. G., DiMiceli C., Carroll M. L., Eastman J. C., Hansen M. C., Defries R. S. 2002. Detection of land cover changes using MODIS 250-meter data. *Remote Sensing of Environment*, n. 83, p. 336-350, 2002.
- Zhan, X., Defries, R.S., Townshend, J.R.G., DiMiceli, C.M., Hansen, M.C., Huang, C., Sohlberg, R. 2000. The 250m global land cover change product from the moderate Resolution Imaging Spectroradiometer of NASA's Earth Observing System. *International Journal of Remote Sensing*, v. 21, n.6, p.1433-1460, 2000.