

MONITOREO DE QUEMAS DE PASTIZALES Y CUANTIFICACION DE SUPERFICIES DEVASTADAS POR INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE IMAGENES NOAA –AVHRR Y LANDSAT ETM 7+

Ing. Geog. Yuri SANDOVAL MONTES¹⁻²

¹SUPERINTENDENCIA AGRARIA, Bolivia

Dirección de Información – Intendencia Técnica

si-a@ceibo.entelnet.bo ; s_yuri@hotmail.com

²UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES,

Carrera de Ingeniería Geográfica

PALABRAS CLAVES: Monitoreo, Quemadas, Chaqueo, Incendios, Superintendencia Agraria, LANDSAT, NOAA-AVHRR, Tarija

RESUMEN

Los chaqueos y quemadas de pastizales, como actividades para la habilitación de nuevas tierras de cultivos y labranza son ya tradicionales y difíciles de reemplazar por el costo que generaría a los propietarios la introducción de otras técnicas. En ese sentido se ha previsto una normativa que pueda ejercer un control y monitoreo sobre quemadas, norma asignada a las Superintendencias Agraria y Forestal, para el control de quemadas de pastos y bosques respectivamente. El uso de imágenes NOAA – AVHRR en la Superintendencia Agraria permite realizar el seguimiento de las quemadas complementada con un mecanismo previo de autorizaciones de quema controlada. Sin embargo no todas las personas cumplen con este requisito, quemando sin las respectivas precauciones y generando fuegos descontrolados o incendios, tales como los sucedidos en Guarayos y San Ignacio de Moxos (Beni) en años anteriores, o como los sucedidos en Tarija durante la presente gestión.

El presente trabajo pretende mostrar mediante el uso de Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográficos, las quemadas detectadas mediante el satélite NOAA durante años anteriores y hacer un especial énfasis en la localización del último gran incendio suscitado en Tarija los primeros días de Agosto del 2002. Para tal efecto se realizó la identificación del área de quema en las imágenes NOAA-AVHRR y la cuantificación de cobertura vegetal devastada por el incendio a través del uso de imágenes LANDSAT ETM 7+, todo realizado en ArcView GIS y ArcView Image Analysis. De igual manera se realiza una comparación del uso de diferentes tamaños de píxeles, para la cuantificación de las superficies mencionadas.

ABSTRACT

Forest and crops burning, as new land enabling activities, are traditional, but difficult to replace; alternative land enabling activities are costly, and are not likely to be used by the farmers. Given this situation, Superintendences Agraria and Forestal was assigned the responsibility to monitor and control burnings of forests and grasslands respectively. Through use of NOAA-AVHRR Images, and existing authoritative mechanisms to control burns, both monitoring and control can be achieved. However, many farmers burn their land without authorization or precautions, resulting in uncontrolled and sometimes disastrous fires, like those in Tarija this year, or in Guarayos and San Ignacio de Moxos (Beni) during past years.

This project demonstrates that Remote Sensing and Geographic Information Systems can detect and quantify historical and recently burned areas with NOAA-AVHRR. We emphasize the results of the recent fire in Tarija, August 2002. Where we analyzed the vegetation in the pre-burn area using LANDSAT ETM 7+ and the post-burn area with NOAA-AVHRR and LANDSAT ETM 7+.

Using *Arc View Image Analysis*, we improved the precision of our statistics through comparing the low resolution NOAA Imagery with high resolution LANDSAT ETM 7+ imagery.

1. INTRODUCCION

Las actividades de quema de pastizales y chaqueos de bosques, son en Bolivia, actividades difíciles de reemplazar, al menos cuando se trata de los productores locales, que no poseen los suficientes medios económicos para reemplazar estas actividades por otras más “sostenibles”, que implican en la mayoría de los casos inversiones para el uso de maquinaria. De esta forma, al seguir haciendo uso de ese tipo de medios “tradicionales”, no está exenta la posibilidad de generar incendios que puedan afectar vastas extensiones de terreno e incluso diezmar poblaciones, como el caso de los incendios ocurridos hace un par de años en las localidades de Ascensión de Guarayos y San Ignacio de Moxos, en los departamentos de Santa Cruz y Beni respectivamente. Y sin ir lejos este año, en el mes de agosto, un incendio que devastó un área protegida y poco falta para que arrasase con una de las nueve ciudades capitales de Bolivia.

Consciente de esto, el Estado boliviano emitió normas como la Resolución Ministerial 131/97, que otorga postestad a las Superintendencias Agraria y Forestal, para que realicen el Control y Monitoreo de Quemadas de Pastizales y Bosques respectivamente. En el caso de la Superintendencia Agraria, de la que forma parte el autor del presente artículo, se vienen realizando actividades que vayan a prevenir este tipo de eventos, así como aquellas que permitan el monitoreo de quemadas de pastizales. Para tal efecto se adquirió una estación terrena del Satélite NOAA, que permita captar imágenes en lo posible diariamente y realizar un seguimiento de las quemadas principalmente de pastos, labor que se viene realizando los tres a partir de los últimos años, principalmente durante los meses de mayor quema que son de Julio hasta Octubre inclusive.

Estas actividades han permitido realizar seguimientos, amonestaciones a las personas que realizaban quemadas de pastizales sin autorizaciones e incluso procesar a algunos infractores que causaron pérdidas ambientales por originar fuegos descontrolados.

Si bien como entidad fiscalizadora se cuenta con los medios necesarios para este seguimiento –en opinión del autor-, es difícil cubrir al mismo tiempo todo el territorio nacional. En referencia a los gobiernos locales, tales como las municipalidades e incluso las prefecturas, no se ha avanzado mucho al respecto, y es aquí donde se quiere hacer un énfasis puesto que, en el caso de eventos inesperados y funestos, tales como un incendio forestal, la demanda de la población local afectada de recibir cierta “retribución” por las pérdidas sufridas, genera en las autoridades nacionales y departamentales, ciertas situaciones de emergencia para generar proyectos de recuperación de las zonas y de compensación para los afectados, que, en muchos casos sobre cuantifican las pérdidas para recibir mejores montos y/o proyectos. Por su lado la parte técnica local, carente de ciertos instrumentos y herramientas que permitan un cálculo aproximado de las áreas afectadas, realizan estimaciones a *prima visu* de las áreas afectadas, desestimando o sobreestimando las pérdidas.

La ventaja de la utilización primeramente de una herramienta que permita cuantificar los datos en “tiempo real”, tales como las imágenes NOAA-AVHRR, arrojando estimaciones muy aproximadas de las superficies afectadas, son por cierto muy valiosas y confiables para esas situaciones de emergencia, donde los datos que permitan esas estimaciones son carentes. Sin embargo las imágenes NOAA, si bien poseen una importante resolución temporal (pases de hasta 4 veces por día: NOAA 12, 14, 16 y 17), no son tan efectivas en cuanto a la resolución espacial, por presentar un píxel de 1,1 Km², que, si bien detecta, según el INPE, frentes de hasta 30 m. de calor, no arrojan superficies muy precisas, obligando a los usuarios a “ajustar” los datos en función de ese parámetro. Sin embargo de las comparaciones realizadas en el presente trabajo, con el uso de una imagen de mayor resolución espacial (LANDSAT), que pasó por el lugar casi 10 días después del siniestro, se pudo determinar una buena correlación entre las superficies calculadas con ambos sensores, e incluso la forma del área devastada, mostraba rasgos similares.

Por otro lado, el uso de imágenes de mayor resolución y anteriores al evento del incendio –en este caso-, permitirán al componente técnico una adecuada cuantificación y estimación de los daños ocurridos, principalmente en cuanto a la cobertura vegetal, así como en cuanto al uso del suelo que se estaba dando hasta ese momento; para este propósito, imágenes satelitales de mayor resolución espacial, tales como las del satélite LANDSAT ETM7+ u otras similares, permitirán dicha estimación y de esta manera elaborar proyectos con mayores parámetros de precisión o al menos con aproximaciones a la realidad y de esta manera no permitirán una sobreestimación o minimización de las pérdidas sufridas.

De igual manera, el aprovechamiento de otro tipo de estudios, tales como Zonificaciones (Agroecológicas, Ambientales y otras), así como estudios previos (de suelos, erosión, vegetación, etc.) brindarán mayores

pautas a los tomadores de decisiones, a fin de que se pueda aproximar mucho más la visión de las pérdidas realizadas y generar mejores proyectos de recuperación.

2. LA SUPERINTENDENCIA AGRARIA Y LA QUEMA CONTROLADA DE PASTIZALES

Durante la presente gestión (2003), la Superintendencia Agraria viene realizando por cuarto año consecutivo la Campaña de Control de Quemas de Pastizales, que principalmente los meses de Julio a Octubre hace sentir en la población los efectos no deseados resultantes de una gran incidencia de actividades de quemas y chaqueos que generan efectos nocivos sobre el medio ambiente a nivel nacional y que hasta hace algunos años tales actividades se venían realizando indiscriminadamente y ocasionaron desastres tales como los incendios de Guarayos, y San Ignacio de Moxos, entre los principales.

Esta experiencia al igual que las anteriores, pretende preservar las tierras bolivianas de la expansión descontrolada de fuego en los pastizales y alertar oportunamente a las instituciones responsables de la presencia de incendios.

2.1 Normas Para Evitar Los Incendios

Entre las normas emitidas por la Superintendencia Agraria, el propietario debe establecer líneas cortafuegos en la periferia del área a quemar con la finalidad de evitar la propagación del fuego y como medida de precaución, debe alertar a sus colindantes sobre la ejecución de la quema. Asimismo no está permitido usar ningún tipo de combustible para la quema, debiendo evitar realizar las quemas cuando se presenten condiciones de fuertes vientos y o cuando hace mucho calor. En el momento de la ejecución de la quema, deberá supervisar el desarrollo del fuego, eliminar todo vestigio del mismo y contar con apoyo humano suficiente en caso de incendio. Está terminantemente prohibido quemar en áreas protegidas, servidumbres ecológicas y zonas no autorizadas por la Superintendencia Agraria.

2.2 Sistemas De Control

El sistema de Control y Monitoreo de Quemas de Pastizales desarrollado por la Superintendencia Agraria cuenta con dos componentes; el Procedimiento para la autorización de quemas controladas de pastizales y el Monitoreo de quemas mediante Sensores Remotos (satélite).

El Procedimiento para la autorización de las quemas, establece que la solicitud de quema se realiza a través de un formulario en el que consta la información general sobre el predio, su ubicación geográfica y constituye una declaración jurada de cumplimiento de las normas técnicas.

Este procedimiento se verifica en campo en predios seleccionados por muestreo, gracias al trabajo de brigadas de campo de la Superintendencia Agraria o por delegación.

Para el *Monitoreo de quemas mediante sensores remotos* (satélite), se recibe imágenes de satélite gracias a la estación terrena de percepción remota NOAA adquirida por la Superintendencia Agraria, que cuenta con un sensor del Radiómetro Avanzado de Alta Resolución (AVHRR), cuyas bandas térmicas permiten detectar la presencia de fuego (focos de calor) en cualquier parte del territorio nacional.

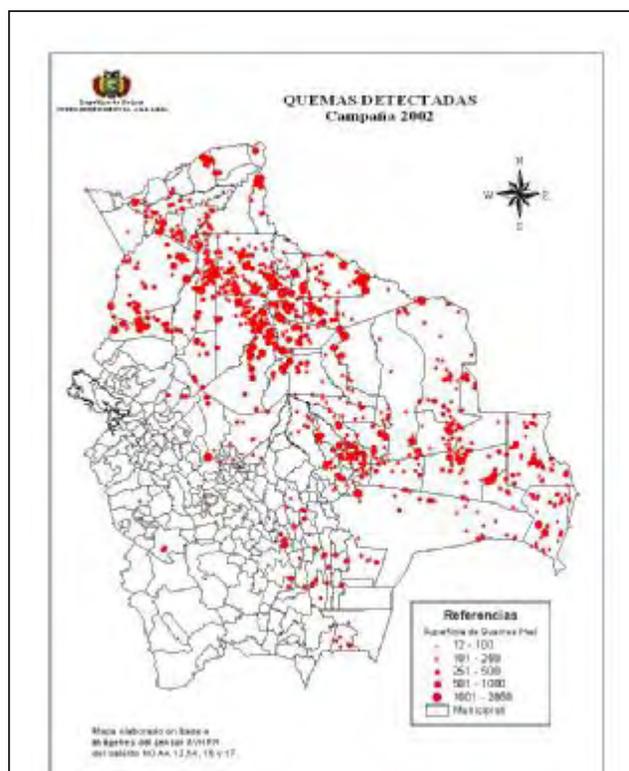


Figura 1. Mapa Resumen de Quemas detectadas 2002

Diariamente se reciben hasta cuatro señales del satélite, lo que permite un monitoreo constante de la evolución de quemas y la detección oportuna de fuegos descontrolados o incendios y que verifican con cierta precisión la presencia y evolución de fuego sobre el territorio nacional. El área a monitorear, está constituida por la sabana beniana y chiquitana que abarca una superficie aproximada de 23 millones de hectáreas.

2.3 Difusión De Resultados De Quemas En “Tiempo Real”

La ventaja de contar con un receptor satelital en la Superintendencia Agraria, permite elaborar reportes “en tiempo real”, es decir, luego de recibir las imágenes NOAA en el día, son procesadas y se elaboran reportes de quemas de Pastizales que además de ser elevados a instancias superiores correspondientes, fueron enviadas a través de Correo Electrónico a las instituciones como las Federaciones de Ganaderos, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ministerio de Defensa – Defensa Civil, Ministerio de Desarrollo Sostenible - Viceministerio de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Desarrollo Forestal, Prefecturas, Superintendencia Forestal, Medios de Comunicación y Otros.

3. AREA DE ESTUDIO DE CASO

El área específica para el presente estudio esta localizada en el departamento de Tarija, que durante los días 19 al 21 de Agosto de 2002 se vio afectada por un incendio forestal de grandes magnitudes para Bolivia, pues gran parte del área incendiada se encontraba dentro un Área Protegida (Reserva Biológica Cordillera de Sama), además de estar a escasos “4 kilómetros del centro de la ciudad” de Tarija (La Razón, 20/08/02); una de las nueve ciudades capitales de Bolivia, (153.457 hab sg. CNPV-2001).

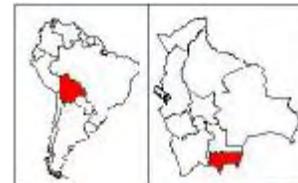


Figura 2. Área de Estudio

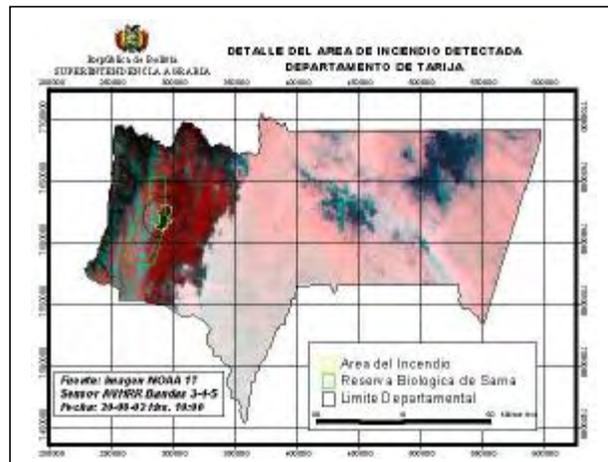


Figura 3. Mapa - Imagen NOAA 17 (20/08/02) - Depto. de Tarija resaltando el area fectada

El área devastada por el fuego, llegó a afectar a tres secciones municipales, Tarija (1ª sección de la provincia Cercado), San Lorenzo y El Puente (1ª y 2ª sección municipal de la Provincia Méndez, respectivamente). Con el incendio se quemaron “las áreas de pastoreo del cerro de las comunidades afectadas entre la zona del Erquis en la provincia Méndez, y San Andrés en la Provincia Cercado. En este tramo están ubicadas las comunidades de Erquis Ceibal, Erquis Sud, Erquis Norte, Coimata, la Victoria, y el Rincón de La Victoria en el sector de la provincia Méndez, y las comunidades de Turumayo, Guerrahuayco, San Andrés y San Pedro de Sola en el sector de la provincia Cercado...” (JAINA, 2002),.

En lo referente a la **Reserva Biológica Cordillera de Sama**, “Declarada mediante

DS.22721 del 30-1-1991 como Reserva Nacional de Vida Silvestre, fisiográficamente ocupa la región de la Cordillera oriental sur (Cordillera de Sama), con una topografía de abruptas pendientes, mesetas y lagunas altoandinas. El clima varía de frío a templado (mesotérmico) según la variación altitudinal, con una precipitación inferior a 800 mm. anuales. La hidrografía del Área está definida por la cuenca de los ríos Tajzara, Camacho, San Juan del Oro y Guadalquivir. El Área se encuentra en las subregiones biogeográficas de la Puna y Prepuna. El régimen de pluviosidad varía de subhúmedo a perhúmedo en las zonas de mayor exposición a las lluvias orográficas y neblinas, esto en un rango aproximado de 300 a 800 mm. Anuales. Ecológicamente comprende ecosistemas altoandinos como la Pradera de Puna semiárida y las transiciones al Valle seco mesotérmico caracterizados por diferentes tipos de matorrales microfoliados. Destacan de forma especial en las zonas altas los Bosquecillos relictuales de (*Polylepsis cf. tomentella*) y los Yaretales de (*Azorella compacta*). En la fauna destaca un importante conjunto de especies de importancia para la conservación como el cóndor (*Vultur gryphus*), el puma (*Felis concolor*), la vicuña

(*Vicugna vicugna*), el gato andino o titi (*Felis jacobita*), la taruca o venado andino (*Hippocamelus antisimensis*), la viscacha (*Lagidium viscacia*). Es probable que exista una población relictual de guanaco (*Lama guanicoe*) correspondiente a una subespecie particular. También ha sido reportada sin confirmación al momento la existencia de Chinchilla (*Chinchilla brevicaudata*). Por otra parte destaca un importante conjunto de aves acuáticas altoandinas, como ser las tres especies de flamencos andinos. En los aspectos mas relevantes Presenta una particular belleza escénica a partir del marcado gradiente altitudinal y la presencia de lagunas altoandinas. Existen Sitios de valor arqueológico (ruinas de origen incaico y pinturas rupestres). La accesibilidad al Area es relativamente fácil. La Reserva puede ser reservorio de una notable diversidad de recursos genéticos, especialmente en relación con productos agrícolas tradicionales (tubérculos, maíz). La población de la parte alta de la Reserva es de origen Quechua-Aymara” (SERNAP, 2000).

4. MATERIALES Y METODOS

4.1 Materiales

- Ø Imagen NOAA – AVHRR de fecha 20-08-02 Hrs. 10:00 am
- Ø Imagen LANDSAT ETM 7+ P231/R075 (5,4,3) de fecha 25/10/99
- Ø Imagen LANDSAT ETM 7+ P231/R075 (5,4,3) de fecha 30/08/02
- Ø Hoja Topográfica SF-20-05 Escala 1:250000
- Ø Coberturas Temáticas sobre Erosión, Areas Protegidas y Zonificación Agroecológica
- Ø Software: Arc View GIS y Arc View Image Analysis

4.2 Métodos

Se realizó la georeferenciación previa de la imagen NOAA en el software *ERDAS*. Luego se procedió a la localización de píxeles de quemados en la imagen NOAA en *Image Analysis* de *Arc View* y se digitaliza (poligonización) de manera automática de los píxeles correspondientes al área de quema con *Seed Tool*, sobre la imagen NOAA.

Se procede luego a la sobreposición de los límites político administrativos (mapa vectorial) sobre la imagen y determinación de la localización del área de quema además de la sobreposición del mapa topográfico sobre la imagen para determinar las comunidades afectadas.

Debido a la baja resolución de NOAA-AVHRR, se vió la necesidad de recurrir a una imagen de mayor resolución espacial, LANDSAT ETM7+, para determinar con mayor precisión el área devastada. Esta imagen deberá ser posterior a la fecha de la quema. Debido a que la resolución temporal del Landsat es de 16 días, la imagen mas cercana fue de fecha 30/08/02, en la cual se apreciaba claramente el área afectada. Toda la información fue procesada en la proyección UTM Zona 20 Sur, con Datum WGS 84.

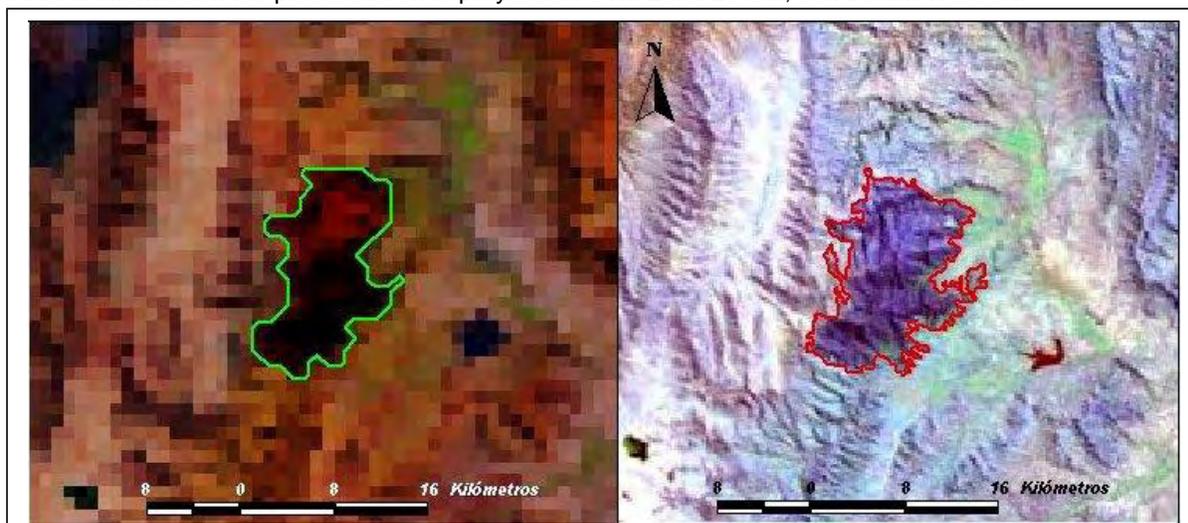


Figura 4. Comparación de las áreas afectadas por el incendio en imágenes NOAA 17 (20/08/02) y LANDSAT 7 ETM+ (30/08/02), ambas a la misma escala para resaltar el área del incendio.

Una vez georeferenciada la imagen LANDSAT, se procedió a la identificación del área de quema y a la poligonización del área devastada en base a píxeles de entrenamiento, descartando áreas de sombra que pudiesen confundir los resultados. En base a dicho polígono se realiza la comparación con el polígono resultante de la imagen LANDSAT, se comparan los resultados.

Para la cuantificación de las superficies devastadas por el incendio, se utiliza una imagen LANDSAT anterior a la fecha de quema, en este caso se utilizó la correspondiente al 25/10/99. La imagen anterior a la fecha del incendio es clasificada en clases con el comando *Categorize* de *Image Analysis*. Una vez clasificada la imagen se procede a la conversión del mapa Raster a Vectorial (Vectorización), para el cálculo de las áreas que fueron quemadas.

Con estos resultados se hizo la correspondiente sobreposición y el cálculo correspondiente a las coberturas quemadas para el área de la Reserva Biológica Cordillera de Sama y de las comunidades afectadas.

Finalmente se procedió al análisis de las superficies cuantificadas y de las posibles áreas de influencia alrededor de las comunidades afectadas.

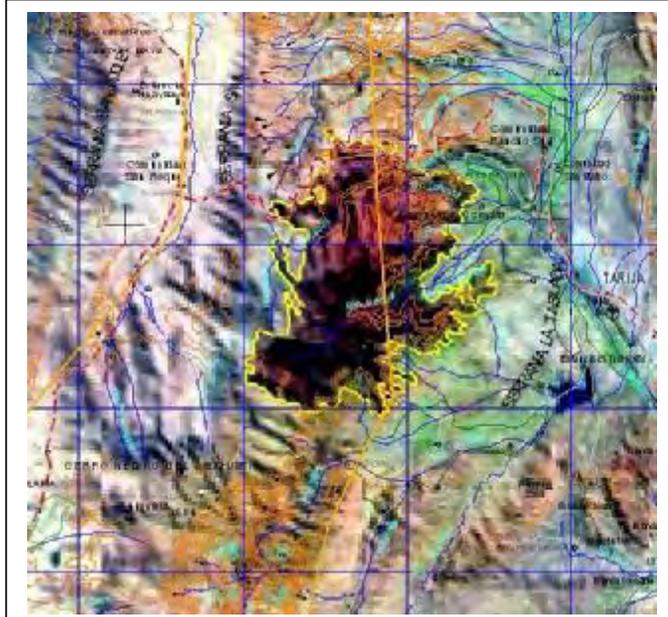


Figura 5. Mapa-imagen del área del incendio

5. RESULTADOS

En base al trabajo realizado, se pueden realizar las siguientes constataciones:

Según la interpretación de la imagen LANDSAT ETM 7+, la superficie afectada es aproximadamente de 14.461 Has, aunque los días de la quema se llegó a estimar “unas 20 mil a 30 mil hectáreas afectadas por el incendio” (La Razón, 20/08/02). El dato que se maneja oficialmente es de 18.000 has, cifra mas cercana a la detectada si se toma en cuenta que el software no toma en cuenta la(s) pendiente(s) y se descartaron algunas áreas que se confundían con sombra.

El área de quema detectada fue sobrepuesta con coberturas temáticas tales como el Mapa Preliminar de Erosión de Suelos y la Zonificación Agroecológica del Departamento de Tarija, obteniéndose los siguientes resultados:



Figura 6. Infograma de la prensa local, mostrando el área afectada, (nótese el recuadro que resalta una superficie de 20 a 30 mil hectáreas) (La Razón, 19/08/02)

5.1 Mapa De Erosión De Suelos

Para determinar los niveles de erosión antes de la quema, se realizó la intersección de área cuantificada con el Mapa Preliminar de Erosión de Suelos (MDSMA, 1996), las áreas comprometidas en el incendio, corresponden a áreas con Erosión Muy Fuerte (78%), Grave (6%) y Muy Grave (16%), que están en los niveles más avanzados de erosión hídrica principalmente que "...presentan cárcavas profundas,... terrenos muy accidentados, con escasa cobertura vegetal de protección y una acción antrópica fuerte,... que contribuyen a los procesos de erosión acelerada, haciendo que los medios de control sean muy difíciles y altamente costosos, como es el caso del Valle Central de Tarija" (MDSMA, 1996). Lo paradójico de esto es que el área con erosión muy fuerte, y grave, corresponde al área protegida Cordillera de Sama. Ni hablar de la muy grave, que coincidiría con la parte de pie-de-monte donde están ubicados los cultivos.

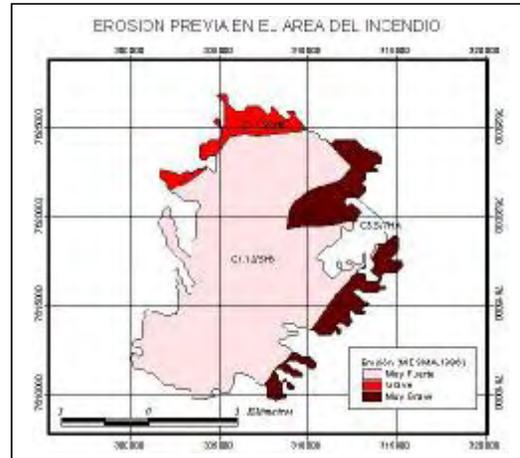


Figura 7. Mapa de Erosión de Suelos (En base a MDSMA, 1996)

Tabla 1. y Figura 8. Superficies de Erosión en el Área del Incendio

CODIGO	DESCRIPCIÓN	HAS	%
C1.13/6HB	Serranías bajas a moderadamente altas, muy disectadas, con erosión grave	895.81	6.19
C1.12/5HB	Serranías bajas, poco disectadas, con erosión muy fuerte	11,282.62	78.02
C3.5/7HA	Valles amplios, ondulados, de origen fluvio-lacustre, con erosión muy grave	2,282.67	15.78
	TOTAL	14,461.10	100.00



5.2 Mapa De Zonificación Agroecológica

La intersección de las unidades de Zonificación Agroecológica de Tarija (ZONISIG, 2001), con el área del incendio, permitió detectar las siguientes categorías: Uso agrícola intensivo (0.29%), Uso agropecuario extensivo (0.2%), Protección con uso ganadero extensivo limitado(13.6%), Protección con uso agropecuario extensivo limitado (4.7%) y la mayor porción del área quemada que corresponde a la Reserva Biológica de la Cordillera de Sama (81%).

Del estudio de ZONISIG, se ha determinado que las unidades agrícolas requieren una baja fertilidad de los suelos y un requerimiento de riego, en lo agropecuario intensivo el pastoreo de vacunos (semiestabulado) y ovinos y cultivos anuales con variedades de crecimiento corto, en unidades de protección con ganadería limitada y uso agropecuario extensivo, se debe tender a la recuperación de los recursos naturales, regulando la carga animal para revertir la degradación de la vegetación y el suelo, incorporando actividades de

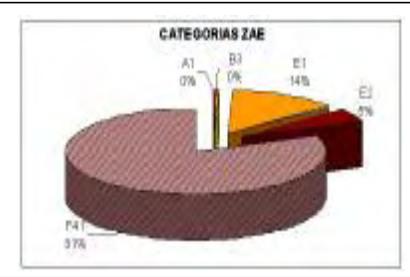


Figura 9. Mapa de Zonificación Agroecológica del Área afectada por el incendio (En base a ZONISIG, 2001).

pastoreo rotativo, cercas perimetrales y división de potreros. En lo referente a la Reserva Cordillera de Sama, se recomienda la redelimitación física de la misma sobre la base de criterios biofísicos, ecológicos administrativos y de gestión. (ZONISIG, 2001).

Tabla 2. y Figura 10.
Zonificación Agroecológica (Previa) en el Área del Incendio

COD.	CATEGORÍA	HAS	%
A1	Uso agrícola intensivo	42.0169	0.29
B3	Uso agropecuario extensivo	28.6435	0.20
E1	Protección con uso ganadero extensivo limitado	1965.6269	13.59
E2	Protección con uso agropecuario extensivo limitado	688.5173	4.76
F41	Reserva Biológica de la Cordillera de Sama	11736.2941	81.16
TOTAL		14461	100.00



5.3 Cuantificación De La Cobertura Vegetal Afectada

Una vez determinada el área de quema, se recurrió a una imagen LANDSAT anterior a la fecha de la quema para la cuantificación de las coberturas afectadas, determinando los siguientes resultados: la mayor superficie afectada es de Pastizales con vegetación graminoide (6910 has – 47.8%), luego cobertura boscosa de aliso principalmente (5161 Has – 35.7 % del área); sin embargo entre suelo desnudo, afloramientos rocosos y cárcavas se cuantificó alrededor de 2049,5 Has que equivalen a un 14,2% del área, toda ella localizada dentro el área protegida-. El área de cultivos afectada, fue de 223,5 Has, un 1,4% del total de la superficie afectada.

También se afectó un porcentaje de llanura aluvial equivalente a 115,7 Has (0,8% del área del incendio), que lamentablemente coincidía con una de las principales tomas de agua de la ciudad de Tarija (Rincón Victoria), que durante el incendio fue contaminada. A mediano plazo esta toma de agua no va a ser fácil de recuperar, pues como es conocido, al afectarse la cubierta vegetal –de un área que provee agua- se afecta indirectamente la capacidad de reposición de los reservorios naturales de agua.

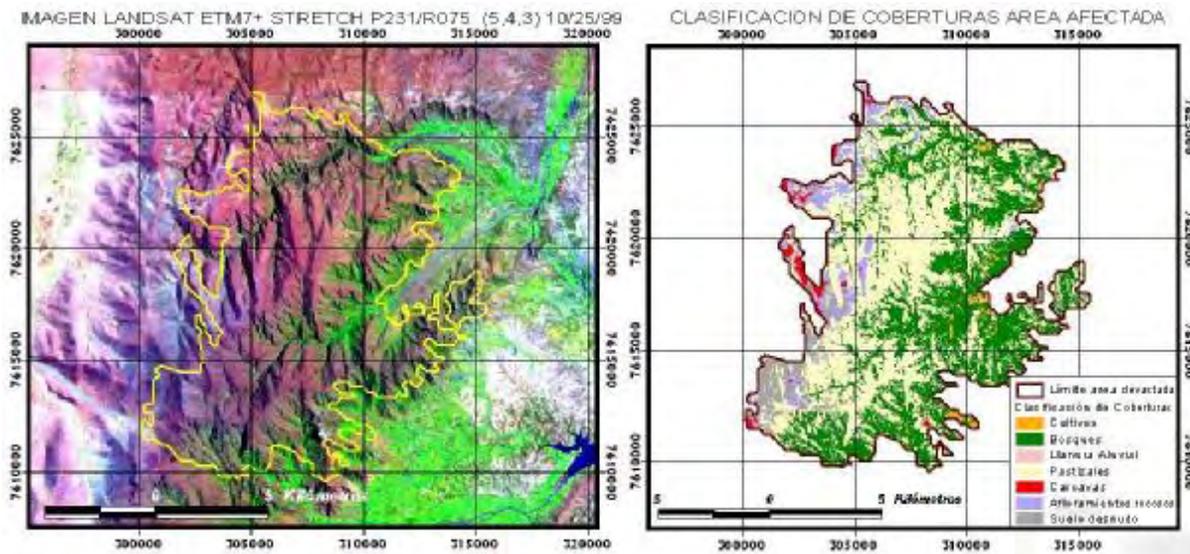
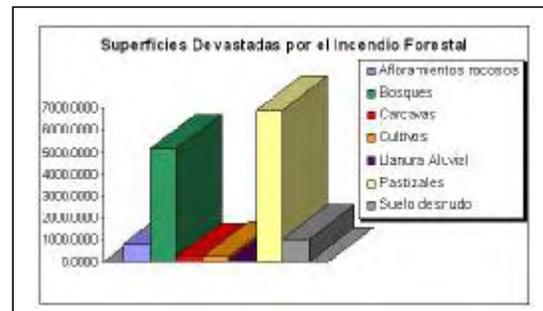


Figura 11. Imagen LANDSAT ETM 7+, anterior a la fecha del incendio (izquierda) y clasificación de cobertura vegetal (derecha) – (ambos a la misma escala)

En lo referente a las pérdidas directas (según JAINA, 2002), se habrían quemado “los campos de pastoreo,... con impactos de corto, mediano y largo plazo,... para el ganado local, con déficit de oferta forrajera hasta su próximo restablecimiento, hasta en dos o tres años, viéndose afectado el sistema de recursos por la presión de carga animal, al menos durante el primer año; de igual manera se afecta la capacidad productora de agua del cerro, disminuyendo la capacidad productiva familiar –de las partes bajas-; de igual manera se afecta la capacidad de productos forestales del cerro, del que no solo extraían leña para cocinar sino también madera para la elaboración de productos agrícolas (pino para tizón, alizo para cabeza de arado, etc), caña brava para construcción, elaboración de silos rústicos (pirwa) y picanas para ayudar en la arada con bueyes; paja y cevinga para construcción y alimentación de animales; y la quirusilla y lora para alimentación humana...”

Tabla 3. y Figura 12.
Cuantificación de cobertura devastada por el incendio

Categoría	Has.	%
Afloramientos rocosos	828.3404	5.73
Bosques	5161.4891	35.69
Carcavas	206.5669	1.43
Cultivos	223.5883	1.55
Llanura Aluvial	115.6944	0.80
Pastizales	6910.8259	47.79
Suelo desnudo	1014.5937	7.02
Total	14461.0987	100.00



6. CONCLUSIONES

Una masiva difusión de las normas a nivel de los productores agropecuarios para la realización de quemas controladas, reduce el riesgo de posibles incendios forestales, de igual manera el monitoreo a través de imágenes de buena resolución temporal (como las del satélite NOAA-AVHRR), posibilita un seguimiento a las solicitudes de quema autorizadas por la Superintendencia Agraria.

Si bien las imágenes NOAA-AVHRR, permiten una detección de focos de calor en “tiempo real”, la cuantificación de las superficies de quemas, debe ser contrastada posteriormente con otro tipo de imágenes de mayor resolución espacial, como LANDSAT, por ejemplo, y en función de ello ajustar las superficies arrojadas preliminarmente.

El uso de información secundaria del área, como estudios previos, permiten definir mejor los tipos de cubierta vegetal y usos que se realizaban en el área.

La utilización de imágenes de buena resolución espacial (léase LANDSAT) y anteriores a la fecha del incendio, otorga la facilidad de poder calcular los tipos de cobertura vegetal y las áreas que han sido devastadas por el fuego, a fin de permitir a los tomadores de decisiones, la posibilidad de la elaboración de proyectos de recuperación de cubiertas vegetales o de compensación a la población afectada, sin mucho riesgo de sobreestimar las pérdidas.

Es necesario resaltar que según las comparaciones realizadas con la información resultante de estudios anteriores, se ha detectado la elevada intervención (aunque indirecta), de actividades de pastoreo, incluso en el área de la Reserva Biológica, que de acuerdo a la clasificación de coberturas realizada, mostraba un importante grado de erosión y de superficies de denudación, que concordante con los estudios tanto de erosión como de la Zonificación Agroecológica, obliga a re-definir los límites del área protegida, y a establecer ciertas limitantes para el acceso del ganado a estas áreas de pastoreo – ramoneo. De igual manera, las limitaciones de la investigación mediante Sensores Remotos, no permite una estimación de las especies faunísticas afectadas por el incendio, labor que debe encomendarse a especialistas que determinen este dato.

Lamentablemente, el acceso a este tipo de tecnología, como son los Sensores Remotos, aún es costoso y no todas las instituciones, principalmente estatales se encuentran en posibilidades de adquirir antenas o al

menos imágenes actualizadas, sin embargo la constitución de una base de datos digital, centralizada por algun organismo estatal que pueda proporcionar este tipo de productos, sería muy adecuado, al menos para estudios de este tipo de características, donde si bien se requieren datos de imágenes recientes –en tiempo real-, pueden proporcionarla para casos de emergencia; también se puede recurrir a imágenes anteriores para la cuantificación de coberturas previas a los eventos de fuego, como el caso del presente estudio.

La carencia de tecnología de los técnicos locales, debe ser superada a través de convenios con otras instituciones que poseen los medios necesarios para efectivizar acciones de seguimiento de eventos, así como de alerta temprana, aunque no es suficiente, pues si bien se tienen mecanismos para el seguimiento de estos eventos falta mucho por hacer.

En opinión del autor, poco se ha hecho hasta ahora para enfrentar este tipo de catástrofes, si bien los medios para el seguimiento de este tipo de eventos se han logrado, se debe pensar en herramientas que ayuden a enfrentar estos siniestros. Incendios acaecidos años anteriores, desnudan la realidad de nuestro país, mostrándolo carente de herramientas para enfrentar sucesos de grandes magnitudes, debiendo recurrir incluso a países vecinos en procura de ayuda. El adecuado manejo de recursos para la adquisición de vehículos y naves para combatir el fuego, por ejemplo y su dotación en ciudades de mas de 100000 habitantes, o al menos una adecuada y estratégica disposición de los mismos, a lo largo de las áreas de mayor riesgo, puede al menos mitigar este tipo de eventos.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a las autoridades de la Superintendencia Agraria, por el apoyo en lo referente a insumos y equipos para la realización de este artículo.

De igual manera a las autoridades de la Carrera de Ingeniería Geográfica de la Universidad Mayor de San Andrés - UMSA.

BIBLIOGRAFIA

Hori Ochoa, et al; 2000; Identificación y Evaluación de las regiones afectadas por Incendios Forestales de la Sierra de Arteaga, Nuevo León, México, durante 1998 y 1999; 11 pp; en Resúmenes IX Congreso SELPER.

JAINA, 2002; Evaluación Participativa del Impacto Socioeconómico en las Comunidades Afectadas por el Incendio de la Cordillera Sama y Sola (Resultados Preliminares); Tarija, Bolivia; 15 pp.

LA RAZON; 2002. Artículos relativos al Incendio de Tarija; (19 y 20 de Marzo 2002); La Paz, Bolivia.

MDSMA, 1996. Mapa Preliminar de Erosión de Suelos. – Región Arida, Semiarida y Sub-húmeda Seca de Bolivia; La Paz, Bolivia; 56 pp + 1 Mapa.

Pezzola, et al; Utilización de Imágenes Satelitales para la Evaluación de la Superficie Afectada por incendios en el Partido de Villarino; CONAE – INTA; Bs. As., Argentina; 20 pp.

ZONISIG, 2001. Zonificación Agroecológica y Socioeconómica – Departamento de Tarija; Tarija, Bolivia; 266 pp + 4 mapas.