

CASO PRÁCTICO

Análisis de series temporales de precipitación y vegetación para la detección de anomalías en la producción de alimentos en el Cuerno de África. El caso de Lower Shabelle (Somalia)

Belenguer-Plomer, M.A.

Departamento de Geografía, Universitat de València, Avda. Blasco Ibáñez, 28, 46101 Valencia, España.

Resumen: El Cuerno de África es uno de los lugares con mayor inseguridad alimentaria de todo el mundo debido al continuo incremento de su población y a la práctica de la agricultura de subsistencia. Esto provoca que gran parte de la población no pueda cubrir las necesidades nutricionales mínimas para llevar una vida saludable. Además, esta situación de vulnerabilidad alimentaria puede verse seriamente afectada en los próximos años debido a los efectos del cambio climático. El objetivo de este trabajo es combinar la información acerca del estado de la vegetación que ofrece el NDVI con datos de precipitación para detectar anomalías negativas en la producción de alimentos. Para ello, se han empleado los productos mensuales de NDVI MOD13A3 de MODIS y de precipitación estimada TAMSAT, ambos durante el periodo 2001-2015. Con dichos productos se ha calculado el promedio de todo el periodo temporal seleccionado y se han detectado los años cuyos valores de NDVI más se alejan de dicho promedio, siendo estos 2010, 2011 y 2014. Una vez detectados los años con mayores anomalías en el NDVI, se ha realizado un análisis mensual exclusivo de dichos años, donde se ha analizado de forma estadística la relación existente entre el valor de NDVI y de precipitación mensual, obteniéndose una relación directa entre ambos valores. Asimismo, se ha empleado el calendario de cosechas para centrar el análisis en los meses de producción agrícola, hallando así que la principal causa de las anomalías en la vegetación es una disminución en el registro de precipitaciones durante los meses de producción agrícola. Dicho motivo explica el origen de la escasez alimentaria sucedida en 2010 y 2011, que generó una enorme crisis humanitaria en esta zona.

Palabras clave: NDVI, sequías, Cuerno de África, MODIS, TAMSAT.

Time series analysis of precipitation and vegetation to detect food production anomalies in the Horn of Africa. The case of Lower Shabelle (Somalia)

Abstract: The Horn of Africa is one of the most food-insecure locations around the world due to the continuous increase of its population and the practice of the subsistence agriculture. This causes that much of the population cannot take the minimum nutritional needs for a healthy life. Moreover, this situation of food vulnerability may be seriously affected in the coming years due to the effects of climate change. The aim of this work is combine the information about the state of the vegetation that offers the NDVI with rainfall data to detect negative anomalies in food production. This work has been used the monthly products of NDVI MOD13A3 of MODIS and the rainfall estimation product TAMSAT, both during the period 2001-2015. With these products we have calculated the average of the entire time period selected and we have detected the years whose NDVI values were further away from the average, being these 2010, 2011 and 2014. Once detected the years with major anomalies in NDVI, there has been an exclusive monthly analysis

* Autor para la correspondencia: belenguerplomer@hotmail.com

of those years, where we have analysed the relationships between the value of NDVI and monthly rainfall, obtaining a direct relationship between the two values. It also has been used crop calendar to focus the analysis in the months of agricultural production and finding that the main cause of anomalies in vegetation is a decrease in the registration of rainfall during the months of agricultural production. This reason explains the origin of the food shortages that occurred in 2010 and 2011 that generated an enormous humanitarian crisis in this area.

Key words: NDVI, drought, Horn of Africa, MODIS, TAMSAT.

1. Introducción

La inseguridad alimentaria se da cuando la población de un lugar determinado tiene durante todo momento un acceso limitado a los alimentos que permiten cubrir las necesidades nutricionales mínimas para llevar una vida saludable (Melgar-Quiñonez *et al.*, 2005; Barrett, 2010). Actualmente se estima que en todo el planeta existe alrededor de 1000 millones de personas afectadas por la inseguridad alimentaria (Barrett, 2010). El cambio climático es un factor determinante en la inseguridad alimentaria de miles de personas en el futuro ya que puede provocar variaciones en el equilibrio natural actual y generar la aparición de riesgos para la seguridad alimentaria en algunas partes del planeta. Existen diferentes formas en las que el clima puede afectar a la seguridad alimentaria de un lugar determinado incluyendo: cambios en las temperaturas y precipitaciones, calentamiento y acidificación de los océanos y aumento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos (Tirado *et al.*, 2010).

Este estudio se centra en el Cuerno de África, ubicado al este de África, donde el mar Rojo se comunica con el océano Índico. Su nombre se debe a su forma triangular, producida por la divergencia entre la placa tectónica africana y la subplaca de Somalia, que en el pasado ya formó Rift Valley, y en la actualidad continúa separándose (Strahler, 1998). El Cuerno de África no tiene unos límites formalmente definidos, pero principalmente está compuesto por Eritrea, Yibuti, Etiopía y Somalia. Dicho espacio es uno de los que tiene una mayor inseguridad alimentaria de todo el mundo debido al constante crecimiento de su población y a la agricultura de subsistencia, la cual hace que exista una elevada dependencia de los recursos naturales

intrínsecos de la zona al no disponer de los suficientes avances técnicos (Pricope *et al.*, 2013).

Según la bibliografía consultada, actualmente los recursos naturales del Cuerno de África están sufriendo una continua degradación como consecuencia de las actividades humanas y del cambio climático (Kassahun *et al.*, 2008; Conway *et al.*, 2009; Flintan *et al.*, 2014; Dutra *et al.*, 2013). Además, en el futuro próximo la situación va a continuar agravándose, dado que es una zona sin las medidas de adaptación suficientes a los efectos generados por el cambio climático. Probablemente esto repercutirá negativamente en varios cultivos que son importantes para grandes poblaciones humanas (Lobell *et al.*, 2008). Esta situación hace que esta zona sea de especial interés para monitorizar las precipitaciones y el estado de los cultivos y así intentar predecir futuras épocas de escasez alimentaria. De esta manera se podría reducir sus posibles consecuencias tales como conflictos, desplazamientos e incrementos en el precio de alimentos, que conducirían a una seria crisis humanitaria (Dutra *et al.*, 2012). Estos factores podrían generar inestabilidad política afectando al tráfico marítimo global. Esta zona tiene especial relevancia como ruta comercial a nivel mundial por encontrarse el canal de Suez. Por otra parte, la inestabilidad política podría desencadenar actividades como la piratería en esta ruta, tal y como ya ha ocurrido recientemente. Dicho motivo eleva todavía más la importancia de analizar las precipitaciones y el estado de las cosechas de esta zona.

En el Cuerno de África los cultivos son principalmente pastizales, necesarios para el pastoreo, y vegetación leñosa (Pricope *et al.*, 2013). Estos se ajustan a las dos épocas de lluvias anuales, la primera es la más duradera e intensa, y se da entre

abril y junio. La segunda es entre octubre y noviembre. Localmente a ambas épocas se les conoce como *Gu* y *Deyr*, respectivamente. Una sequía en estas épocas genera consecuencias negativas en la producción de alimentos, ya que al no disponer de infraestructuras para almacenar el agua el riego se ve limitado, afectando a los diferentes cultivos presentes en la zona y consecuentemente a la población, estimada en 111 millones de habitantes (Haile, 2005).

En este contexto de inseguridad alimentaria, la teledetección cobra un interés especial debido a sus amplias utilidades como herramienta básica para monitorizar las precipitaciones mensuales y analizar el estado de las cosechas mediante la obtención de índices de vegetación. Actualmente existe un amplio catálogo de libre acceso de imágenes satelitales de toda la Tierra de las últimas décadas con una alta resolución temporal, lo que facilita la obtención de índices de vegetación mediante teledetección (Paruelo, 2009; Pettorelli *et al.*, 2011). El cálculo de dichos índices permite poder evaluar las consecuencias en los cambios ambientales en grandes escalas temporales y/o espaciales sin la necesidad de tomar datos *in situ* (Pettorelli *et al.*, 2005), lo cual reduce notablemente los costes económicos de las investigaciones y permite estudiar lugares de difícil acceso y con inestabilidad política, como es el Cuerno de África (El-Affendi, 2009). Asimismo, la teledetección también es de gran utilidad una vez ya ha ocurrido algún suceso atípico para cuantificar los daños producidos en los cultivos de un lugar y así que los diferentes organismos mundiales como la FAO (*Food and*

Agriculture Organization), FEWSNET (*Famine Early Warning Systems Network*) o JRC-EC (*Joint Research Centre of the European Commission*) puedan determinar la ayuda económica que se otorga a cada país.

El principal objetivo de este artículo es analizar el estado de la producción agrícola entre el 2001 y 2015 a partir de productos de NDVI y de precipitación del Cuerno de África para detectar anomalías negativas en la producción de alimentos. Este objetivo se divide en diferentes objetivos específicos: (1) crear un patrón medio de la vegetación y precipitación, (2) obtener las anomalías mensuales de los diferentes años de ambas variables respecto al patrón obtenido y (3) analizar a fondo dichas anomalías comprendidas en un área administrativa, como la región somalí de Lower Shabelle.

2. Área de estudio

El área de estudio seleccionada para analizar las series temporales de vegetación ha sido la región somalí de Lower Shabelle (29761 km²), mientras que las series de precipitación se han analizado en la cuenca del río Shabelle (297000 km²), río que es el principal recurso hídrico que transcurre por la región y además le da nombre, Lower Shabelle, o en castellano Shabelle bajo (Figura 1).

Lower Shabelle es la región de Somalia con mayor superficie cultivada (Oduori *et al.*, 2007). Además tiene una población muy elevada, de 1,2 millones de habitantes. Al mismo tiempo, la región de Banadir, con 1,65 millones de habitantes y donde se encuentra la capital del país, Mogadiscio,

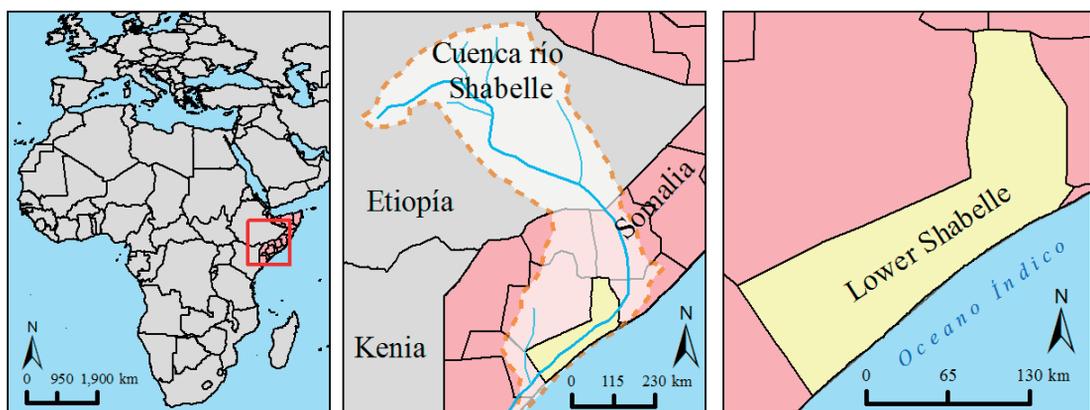


Figura 1. Localización de Lower Shabelle (Somalia) y la cuenca hidrológica del río Shabelle. Elaboración propia.

es contigua a esta. Banadir es muy pequeña y no tiene apenas campos de cultivo, por lo que la mayoría de alimentos que consumen proceden de Lower Shabelle. Este es el principal motivo por el que se ha decidido estudiar las series temporales de vegetación de esta región ya que sus cosechas sustentan cerca de tres millones de habitantes, un 28,5% de toda la población de Somalia (UNFPA, 2014).

3. Materiales

Las series temporales de precipitación empleadas han sido los datos de precipitación mensual estimada del TAMSAT (*Tropical Applications of Meteorology using SATellite data and ground-based observations*) entre 2001 y 2015. Estos datos son generados a partir de la combinación de imágenes satelitales junto a mediciones de campo y se presentan mediante una imagen de todo el continente africano en la que cada píxel contiene la precipitación mensual en mm con una resolución espacial de 4 km (Tarnavsky, 2014). La serie temporal de vegetación empleada ha sido el producto de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) MOD13A3 de MODIS. Este producto contiene el NDVI medio mensual de la zona seleccionada con una resolución espacial de 1 km entre 2001 y 2015. A dicho producto no ha sido necesario realizarle ningún tipo de filtrado de calidad dado que en su cálculo ya se han corregido los efectos atmosféricos y los reflejos bidireccionales de la superficie (BRDF) y también se han enmascarado los cuerpos de agua, nubes, y sombras de nubes (Huete, 1999). Cabe destacar que existen datos de precipitación TAMSAT desde 1983. No obstante, se ha seleccionado únicamente desde 2001, haciendo coincidir así los años de las series temporales de precipitación y NDVI. La decisión de emplear los mismos años se ha basado en estudios similares a este donde se opta por emplear series temporales de la misma longitud temporal (Boschetti *et al.*, 2013; Gebrehiwot *et al.*, 2016; Njery, 2016).

Para poder focalizar el análisis en la región de Lower Shabelle y en la cuenca hidrológica del río Shabelle se han empleado mapas de las delimitaciones administrativas de Somalia y de la cuenca hidrológica, respectivamente. La fuente de la delimitación administrativa de Somalia ha sido la página web <http://mapeastafrica.com/>, de donde se ha descargado dicha delimitación en

formato shape y con Datum WGS84, mientras que la cuenca hidrológica del río Shabelle se ha georreferenciado a partir de un mapa físico con escala 1:5.000.000 (Mohamed, 2014). Además, se ha empleado el calendario de cosechas de Somalia generado por la FAO en el que se muestran los meses del año que se dedican a diferentes actividades agrícolas, para así focalizar la detección de anomalías en la vegetación en estos meses, los más importantes para la producción de alimentos.

El software empleado ha sido: (1) Matlab® (version R2015b. MathWorks, Inc.) para programar el cálculo de los patrones medios de la vegetación y precipitación y también la posterior detección de anomalías, (2) y ArcGIS (ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10.1 Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute) para la representación cartográfica de los resultados obtenidos.

4. Metodología

4.1. Selección territorial de los datos

Tanto el análisis de las series temporales de vegetación como de precipitación se llevó a cabo en dos áreas concretas, estando definidas por límites administrativos en el caso de la vegetación o por límites geográficos en el de la precipitación. El análisis estadístico de dichas áreas se realizó mediante la creación de una máscara binaria con la que se enmascararon los píxeles de las imágenes empleadas que están fuera de la región de Lower Shabelle o de la cuenca hidrológica del río Shabelle.

4.2. Detección de anomalías anuales en la vegetación

Se obtuvieron los valores promedio de NDVI de cada año comprendido en el periodo 2001-2015 y posteriormente se calculó un único valor medio de NDVI del mencionado periodo. Seguidamente se obtuvieron las diferencias entre los valores promedios de cada año y el del periodo 2001-2015. Esto permitió identificar los años con valores de NDVI diferentes a la media de los 15 años estudiados. No obstante, no todos los datos con valores de NDVI diferentes al promedio se catalogaron como anómalos. Solamente se identificaron como años con un NDVI anómalo negativo aquellos cuya diferencia de NDVI con el periodo 2001-2015 fue

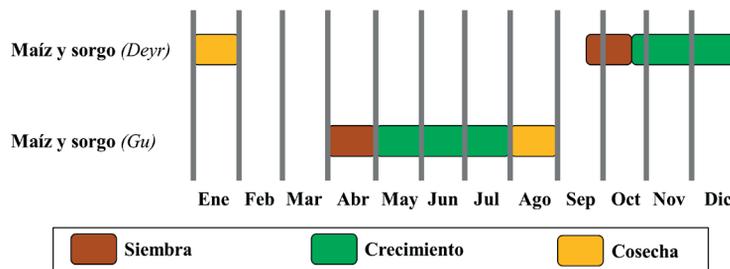


Figura 2. Calendario de cosechas en Somalia. Fuente: FAO.

superior al promedio de todas las diferencias negativas registradas, siendo dicho promedio el umbral empleado. La aplicación de dicho umbral se realizó para permitir una cierta variabilidad en los datos antes de catalogarlos como anómalos. Con los datos de precipitación se hizo el mismo procedimiento con el fin de observar si coincidían los años con anomalías negativas de NDVI con los años con anomalías negativas en la precipitación. Asimismo, en los años con anomalías negativas de NDVI se estudió la relación entre los valores de NDVI y de precipitación mensuales.

4.3. Análisis de las anomalías en la estación de producción

En Somalia existe un estricto calendario de cosechas que coincide con las dos épocas de lluvias que tiene el país. Los principales cultivos son el maíz y el sorgo (Figura 2). Al detectar los años con anomalías negativas más elevadas en el NDVI, se utilizó el mencionado calendario agrícola para

centrar el análisis en los meses de producción de dichos años, y así estudiar cómo influyen las anomalías detectadas en los diferentes periodos vegetativos de las cosechas. También se analizó de forma estadística la relación existente entre el valor mensual de NDVI y de precipitación de dichos años. Para ello se calculó el coeficiente de correlación de Pearson.

5. Resultados y discusión

5.1. Detección de anomalías en precipitaciones y NDVI

En la Figura 3 se muestra de forma porcentual la variación anual del valor de NDVI de la región de Lower Shabelle entre los años 2001 y 2015, mostrando el umbral empleado para considerar un valor de NDVI como una anomalía negativa. De la misma forma se muestra la variación porcentual de la precipitación en la cuenca del río Shabelle.

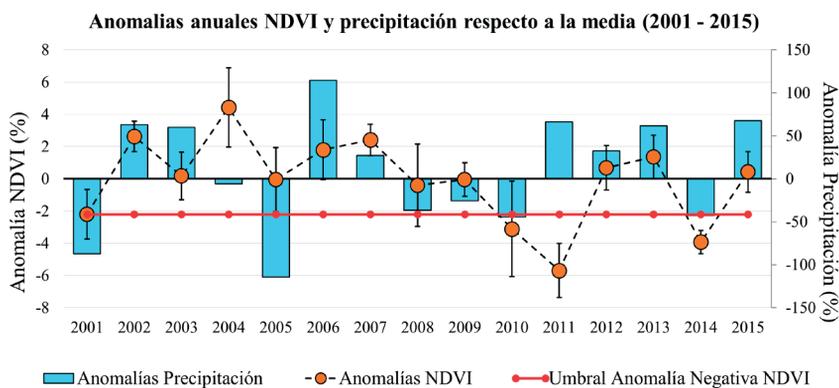


Figura 3. Anomalías de NDVI y precipitación anual (2001 – 2015). Las barras de error muestran el error cuadrático medio (ECM) del valor promedio de NDVI de cada año.

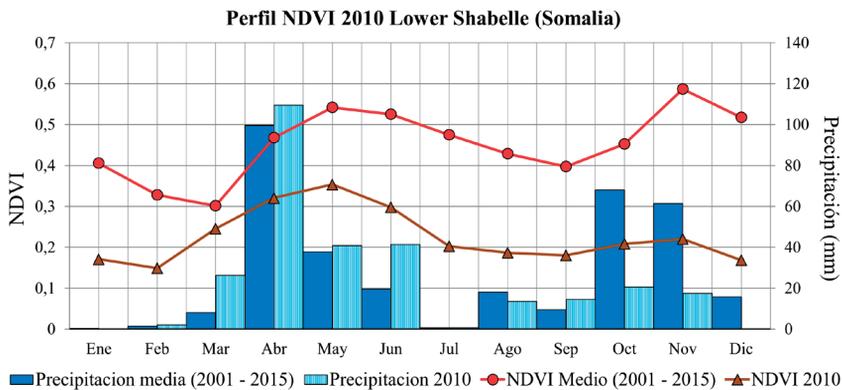


Figura 4. Perfil NDVI (eje Y izquierdo) y precipitación de 2010 (eje Y derecho).

Se observa la estrecha relación entre la anomalía de la precipitación y la del NDVI en la mayoría de años lo que podría explicarse teniendo en cuenta que al disminuir la precipitación puede haber sequía por lo que la superficie vegetal disminuiría reduciéndose el valor de NDVI. No obstante, hay años en los que no existe una relación entre las anomalías de la precipitación y del NDVI, siendo el ejemplo más relevante el 2011. En este año se registró la anomalía negativa del NDVI más elevada de todo el periodo estudiado. Sin embargo, dicho año fue más lluvioso que la media de precipitaciones registrada (+16,59%). Este hecho se debe a que en los últimos meses del año las precipitaciones fueron muy superiores a la media, lo que hace que en términos generales haya sido un año más lluvioso que el resto. Sin embargo cuando se produjo este incremento en la precipitación, la superficie vegetal había disminuido tanto que no

se recuperó inmediatamente, generando así la discrepancia entre los datos de precipitación y NDVI en 2011.

Las anomalías negativas en el NDVI se registraron en 2010, 2011 y 2014, años que sobrepasaron el umbral establecido. Los valores de NDVI de estos años oscilan entre un 3% y un 6% menor a lo habitual. En estos tres años mencionados se llevó a cabo un análisis mensual de los valores de NDVI y de precipitación para observar si coincidían las anomalías mensuales más acentuadas de ambos valores con los meses del calendario de cosechas (Figura 2).

En la Figura 4 se observa como en 2010 las anomalías negativas de precipitación más fuertes fueron en octubre y noviembre, justo los meses de la segunda época de lluvias (*Deyr*), incluidos en los meses del calendario de cosechas en la

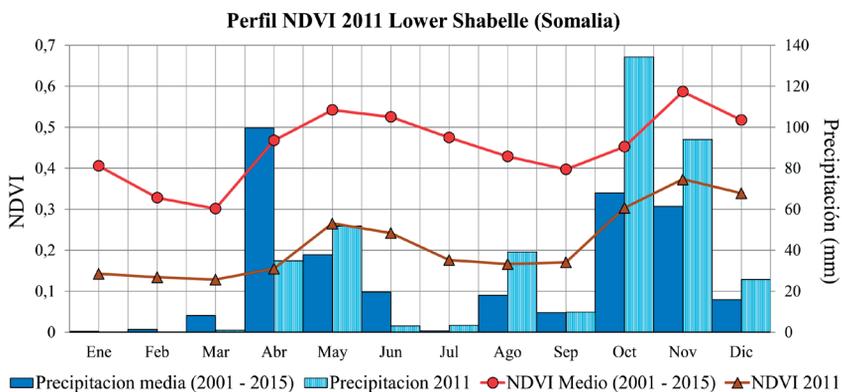


Figura 5. Perfil NDVI (eje Y izquierdo) y precipitación de 2011 (eje Y derecho).

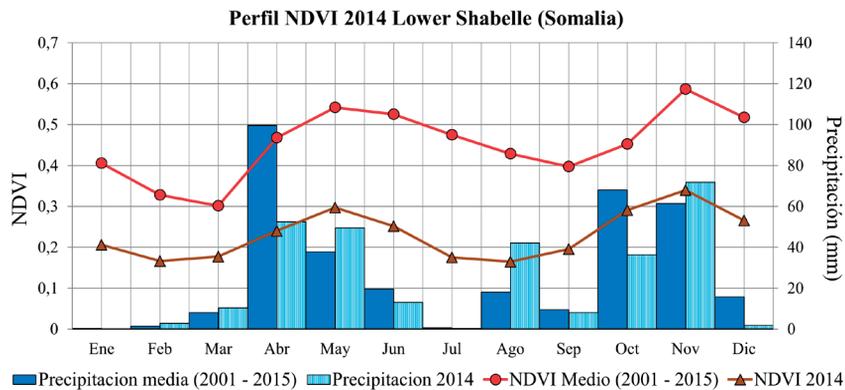


Figura 6. Perfil NDVI (eje Y izquierdo) y precipitación de 2014 (eje Y derecho).

zona. Esta escasez hídrica ocasionó que la vegetación no se desarrollase tanto como lo habitual en esta parte del año originando así una escasez en la producción de alimentos. En la Figura 5 se muestra como en la primera mitad de 2011 las precipitaciones continuaron siendo muy inferiores a lo habitual afectando negativamente el cultivo en los primeros meses del calendario agrícola de 2011. Esta situación se repitió en los meses finales de 2010. Aunque los efectos en 2011 fueron más duros para la población, dado que ya estaban sufriendo desde finales de 2010 los efectos de la escasez alimentaria. Esto originó que en 2011 se produjese el mayor episodio de inseguridad alimentaria de los últimos 60 años en el Cuerno de África (Loewenberg, 2011). Este resultado se comparó con los datos de producción de cereales de Lower Shabelle suministrados por la FSNAU (*Food Security and Nutrition Analysis Unit*). Estos datos confirmaron los resultados obtenidos en el presente trabajo ya que entre el *Deyr* de 2010 y el *Gu* de 2011 hubo una de las producciones más bajas de cereales desde que se tienen registros.

A diferencia de 2010 y 2011, en 2014 no se presentó una sequía concentrada en los meses de las épocas lluviosas sino que la escasez de lluvia fue repartida de forma regular en todo el año (Figura 6). Este hecho originó que el NDVI fuera menor al habitual, pero al no haber una escasez de agua concentrada en los meses de producción agrícola la falta de alimento no fue tan elevada como en el 2010 y 2011.

Se calculó la relación de los valores mensuales de NDVI con los de precipitación en el periodo

2010-2014, que es el que concentra las anomalías negativas de NDVI. El resultado fue una relación directa entre ambas variables con un coeficiente de correlación de Pearson de 0,725. Esto prueba la estrecha relación entre la precipitación y el estado de la vegetación en la zona de estudio, permitiendo afirmar que el principal origen de las anomalías negativas en los valores de NDVI es una disminución en las precipitaciones. No obstante la relación no es perfecta, lo que significa que existen otros factores ajenos al régimen de precipitación que afectan al desarrollo de la vegetación. Estos factores podrían ser la humedad del suelo antecedente, el momento del año en el que se produce la precipitación e incluso eventos extraordinarios como unos grandes incendios o una deforestación con origen antrópico. Así se justifica la importancia de disponer tanto de datos de precipitación como de vegetación (NDVI) en los estudios cuyo objetivo sea detectar anomalías negativas en la producción de alimentos.

5.2. Mapas anomalías NDVI

La Figura 7 muestra las anomalías medias de NDVI de Lower Shabelle en los últimos meses del calendario agrícola de 2010 (*Deyr*) y los primeros de 2011 (*Gu*).

En la Figura 7 se observa como el grado de anomalía en el NDVI de Lower Shabelle fue más acusado entre octubre y diciembre de 2010 que entre abril y julio de 2011. La tabla 1 muestra el porcentaje de superficie de la región afectada por anomalías. Así se observa como las anomalías del

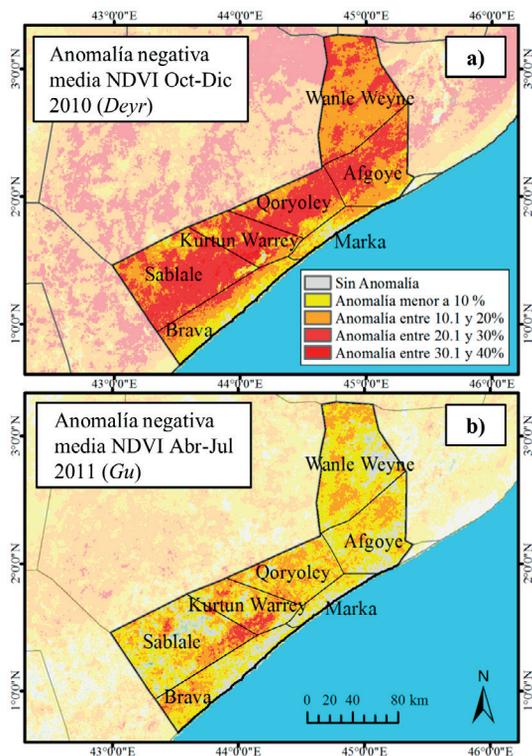


Figura 7. Anomalías negativas medias del NDVI en Lower Shabelle. a) octubre-diciembre 2010, b) abril-julio 2011.

NDVI más evidentes se produjeron entre octubre y diciembre de 2010. En este periodo el 88,87% de la región presentó un valor de NDVI entre un 10% y un 30% menor al de la media y solamente el 1,98% de la superficie no sufrió ninguna anomalía. En cambio, entre abril y julio de 2011, el 18,37% de la superficie no sufrió ninguna alteración respecto al NDVI medio y la mayor parte de la región restante, un 78,97%, registró valores anómalos solamente entre un 0,1% y un 20% menor a lo habitual.

Tabla 1. Superficie de Lower Shabelle según grado de anomalía del NDVI.

Anomalías negativas NDVI	Oct – Dic 2010	Abr – Jul 2011
Sin anomalía	1,98%	18,37%
0,1 – 10%	9,26%	45,19%
10,1 – 20%	45,34%	33,78%
20,1 – 30%	43,53%	2,60%
30,1 – 40%	1,86%	0,06%

5.3. Mapas anomalías precipitación

Del mismo modo que en el NDVI, las anomalías negativas en la precipitación en la cuenca del río Shabelle fueron mayores entre octubre y diciembre de 2010 que entre abril y julio de 2011 (Figura 8), aunque esta diferencia no fue tan acusada (Tabla 2).

Anomalías en las precipitaciones de la cuenca del río Shabelle

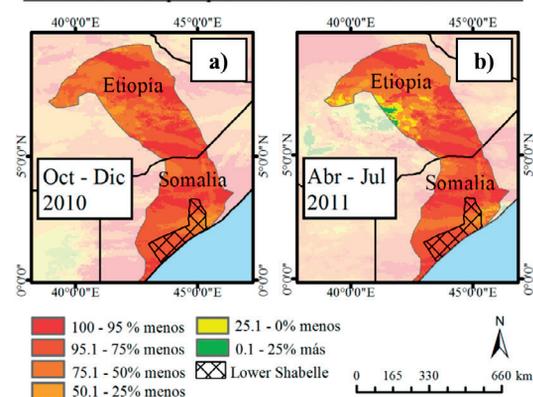


Figura 8. Anomalías medias de la precipitación en la cuenca del río Shabelle: a) octubre-diciembre 2010, b) abril-julio 2011.

Tabla 2. Superficie de la cuenca del Shabelle según el grado de anomalía en la precipitación.

Anomalía en la precipitación	Oct – Dic 2010	Abr – Jul 2011
100 – 95% menos	22,33%	22,30%
95,1 – 75% menos	50,44%	35,92%
75,1 – 50% menos	23,79%	30,45%
50,1 – 25% menos	3,44%	7,73%
25,1 – 0% menos	0,00%	2,58%
0,1 – 25% más	0,00%	1,02%

Tanto en los meses analizados de 2010 como de 2011, fue en una superficie muy similar de la cuenca donde las precipitaciones fueron entre un 100% y un 95% inferiores a la media, es decir, que en más de un quinto de la cuenca no llovió nada, o prácticamente nada. No obstante, las principales diferencias entre las precipitaciones de ambos periodos se encuentran en dos datos muy relevantes: el primero es el porcentaje de superficie que registró precipitaciones entre el 95,1% y 75% inferiores a la media. Dicha superficie supuso entre octubre y diciembre de 2010 el 50,44% de la cuenca, frente solamente el 35,92% de la cuenca

entre abril y julio de 2011. El segundo es que entre abril y julio de 2011 se produjeron anomalías positivas en la precipitación, concretamente precipitaciones entre un 0,1% y 25% superiores a la media. Estas solo se dieron en un 1,02% de la cuenca, pero lo importante es que a diferencia del intervalo analizado en 2010, el de 2011 tuvo anomalías positivas.

6. Conclusiones

Se han alcanzado los objetivos propuestos al detectar las anomalías negativas en la producción de alimentos en la región de Lower Shabelle mediante el análisis del estado de la vegetación a través del NDVI y de la precipitación entre 2001 y 2015. Así se han detectado los años con valores más anómalos de NDVI, los cuales están directamente relacionados con las anomalías en la precipitación, tal y como se ha demostrado al calcular las correlaciones entre el NDVI y los registros de precipitación de dichos años. Aunque esta correlación no es perfecta, lo que puede deberse a la existencia de factores externos a la precipitación que condicionan el desarrollo de la vegetación. Este problema puede analizarse en posteriores estudios, en los que la teledetección, al igual que en el presente trabajo, es una herramienta de una gran utilidad.

Asimismo cabe destacar la buena correspondencia entre las anomalías de NDVI y precipitaciones con las anomalías en la producción de alimentos. Este hecho permite detectar con una elevada fiabilidad los años con baja producción de alimentos a través de una monitorización del NDVI y de las precipitaciones. Esto es de una alta utilidad, sobretodo en el contexto actual de continuo calentamiento global, en el que la tendencia de que este tipo de sucesos se manifiesten frecuentemente es ascendente. Por lo que la teledetección puede ser de gran ayuda a la hora de predecirlos y refrenar al máximo las consecuencias en la población.

Referencias

Barrett, C. B. 2010. Measuring food insecurity. *Science*, 327(5967), 825-828. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1182768>

- Boschetti, M., Nutini, F., Brivio, P. A., Bartholomé, E., Stroppiana, D., Hoscilo, A. 2013. Identification of environmental anomaly hot spots in West Africa from time series of NDVI and rainfall. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 78, 26-40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.01.003>
- Conway, D., Persechino, A., Ardoin-Bardin, S., Hamandawana, H., Dieulin, C., Mahé, G. 2009. Rainfall and water resources variability in sub-Saharan Africa during the twentieth century. *Journal of Hydrometeorology*, 10(1), 41-59. <http://dx.doi.org/10.1175/2008JHM1004.1>
- Dutra, E., Magnusson, L., Wetterhall, F., Cloke, H. L., Balsamo, G., Boussetta, S., Pappenberger, F. 2013. The 2010–2011 drought in the Horn of Africa in ECMWF reanalysis and seasonal forecast products. *International Journal of Climatology*, 33(7), 1720-1729. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.3545>
- El-Affendi, A. 2009. The perils of regionalism: regional integration as a source of instability in the Horn of Africa? *Journal of Intervention and Statebuilding*, 3(1), 1-19. <http://dx.doi.org/10.1080/17502970802608118>
- Flintan, F., Behnke, R., Neely, C. 2013. Natural resource management in the drylands in the Horn of Africa. *Brief prepared by a Technical Consortium hosted by CGIAR in partnership with the FAO Investment Centre, Technical Consortium Brief, 1*.
- Gebrehiwot, T., Van der Veen, A., Maathuis, B. 2016. Governing agricultural drought: Monitoring using the vegetation condition index. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 9(3), 354-371. <http://dx.doi.org/10.4314/ejesm.v9i3.9>
- Haile, M. 2005. Weather patterns, food security and humanitarian response in sub-Saharan Africa. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 360(1463), 2169-2182. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2005.1746>
- Huete, A., Justice, C., Van Leeuwen, W. 1999. MODIS vegetation index (MOD13). *Algorithm theoretical basis document*, 3, 213.
- Kassahun, A., Snyman, H. A., Smit, G. N. 2008. Impact of rangeland degradation on the pastoral production systems, livelihoods and perceptions of the Somali pastoralists in Eastern Ethiopia. *Journal of Arid Environments*, 72(7), 1265-1281. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.01.002>
- Lobell, D. B., Burke, M. B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M. D., Falcon, W. P., Naylor, R. L. 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319(5863), 607-610. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1152339>
- Loewenberg, S. 2011. Humanitarian response inadequate in Horn of Africa crisis. *The Lancet*, 378(9791), 555-558. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)61276-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(11)61276-2)

- Melgar-Quiñonez, H., Zubieta, A. C., Valdez, E., Whitelaw, B., Kaiser, L. 2005. Validación de un instrumento para vigilar la inseguridad alimentaria en la Sierra de Manantlán, Jalisco. *Salud pública de México*, 47(6), 413-422.
- Mohamed, A. E. 2014. Comparing Africa's Shared River Basins – The Limpopo, Orange, Juba and Shabelle Basins. *Universal Journal of Geoscience*, 2, 200 - 211.
- Oduori, S., Vargas, R., Alim, M. 2007. Land use characterization of the Juba and Shabelle Riverine Areas in Southern Somalia. *Mogadishu: Government of Somalia*.
- Paruelo, J. M., Epstein, H. E., Lauenroth, W. K., Burke, I. C. 1997. ANPP estimates from NDVI for the central grassland region of the United States. *Ecology*, 78(3), 953-958. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1997\)078\[0953:AEFNFT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078[0953:AEFNFT]2.0.CO;2)
- Pettorelli, N., Ryan, S., Mueller, T., Bunnefeld, N., Jędrzejewska, B., Lima, M., Kausrud, K. 2011. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): unforeseen successes in animal ecology. *Climate Research*, 46(1), 15-27. <http://dx.doi.org/10.3354/cr00936>
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., Stenseth, N. C. 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in ecology & evolution*, 20(9), 503-510. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011>
- Pricope, N. G., Husak, G., Lopez-Carr, D., Funk, C., Michaelsen, J. 2013. The climate-population nexus in the East African Horn: Emerging degradation trends in rangeland and pastoral livelihood zones. *Global environmental change*, 23(6), 1525-1541. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.10.002>
- Strahler, A., 1989. *Geografía física*. Barcelona: Ediciones Omega.
- Tarnavsky, E., Grimes, D., Maidment, R., Black, E., Allan, R. P., Stringer, M., Kayitakire, F. 2014. Extension of the TAMSAT satellite-based rainfall monitoring over Africa and from 1983 to present. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 53(12), 2805-2822. <http://dx.doi.org/10.1175/JAMC-D-14-0016.1>
- Tirado, M. C., Clarke, R., Jaykus, L. A., McQuatters-Gollop, A., Frank, J. M. 2010. Climate change and food safety: A review. *Food Research International*, 43(7), 1745-1765. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2010.07.003>
- UNFPA (United Nations Population Fund). 2014. Population estimation survey 2014, for the 18 pre-war regions of Somalia: Federal Republic of Somalia.