



El Colegio de la Frontera Sur
Universidad de Sherbrooke

Desertificación en el Sahel: causas, consecuencias y
prácticas para la restauración ecológica

Tesina
presentada como requisito parcial para optar al grado de
Maestra en Ecología Internacional

Por

Marlen Sánchez Acuña

Directora

Dra. Birgit Inge Schmook

2021



El Colegio de la Frontera Sur

Chetumal, Quintana Roo a 14 de junio de 2021

Las personas abajo firmantes, integrantes del jurado examinador de: **Marlen Sánchez Acuña**, hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesina titulada “**Desertificación en el Sahel: causas, consecuencias y prácticas para la restauración ecológica**” para obtener el grado de **Maestra en Ecología Internacional**

Nombre

Firma

Directora Birgit Inge Schmook

Evaluador Pedro Antonio Macario Mendoza

Agradecimientos

Agradezco a mi madre, a mi padre y a mi hermano por estar presentes y brindarme todo su apoyo y amor. Dan, has sido una inspiración para mí, te admiro.

A mis compañeros y amigos que formaron parte de mi vida en estos dos años. En especial a Raúl, Lorenia, Mix, Diego y Benjamin, por las aventuras, las ocurrencias y los momentos de incertidumbre, preocupación, alegría y tristeza que pasamos. Por el apoyo moral, los consejos, por ser compañeros de canto, por estar pendiente de mi salud, por ser mi compañero de rodada, por las mescolanzas y las discusiones apasionadas y sobre todo y por curiosidad de la vida, estar siempre en el mismo equipo. Gracias por compartir su tiempo y hacer de cada situación un momento memorable.

A ECOSUR y la Universidad de Sherbrooke por darme la oportunidad de caminar en este trayecto increíble entre dos mundos distintos. A las doctoras y doctores que compartieron de su conocimiento y me impulsaron a crecer profesional y personalmente. En especial a la Dra. Birgit por su tiempo, enseñanzas y consejos para mejorar mis escritos. A Sophie Calmé y Colette por las enseñanzas compartidas y las clases amenas. A Nancy Vela y Caroline por su paciencia, ánimo y dedicación. Al doctor Pedro Antonio Macario Mendoza por el curso de restauración de ecosistemas el cual fue de gran interés y por la revisión del presente escrito.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento brindado para la realización de los estudios en Canadá y México.

Resumen

El Sahel es una región de transición climática entre el desierto del Sahara y la sabana sudanesa. La franja congrega once países africanos cuyo paisaje es desértico con mesetas compactadas que son separadas por depresiones naturales. En la región se presenta la estación lluviosa y la seca que fluctúan cada año tal como ha ocurrido a lo largo de miles de años. Sin embargo; en la actualidad, las tormentas y las sequías se presentan con mayor intensidad. Estos cambios se han atribuido al calentamiento global causado por las actividades antrópicas. La problemática de estas variaciones climáticas se observa en el aumento del proceso de desertificación que dificulta la subsistencia de los habitantes del Sahel. Este problema converge con factores ambientales, socioeconómicos y geopolíticos como la circulación atmosférica, la termohalina, fenómeno del Niño, inestabilidad política, inseguridad alimentaria, conflictos armados, hambrunas, desigualdad de género y explotación de recursos entre otros. Estos factores tienen impactos importantes en la reducción de cuencas hidrológicas, expansión y generación de enfermedades, migraciones y aumento de efecto albedo entre otros. Todas estas consecuencias e impactos se encuentran ligados directa e indirectamente al proceso de desertificación que aqueja al territorio. Para combatir este proceso, se han llevado a cabo diversos proyectos los cuales han considerado las prácticas tradicionales de recolección de agua y siembra. Además, ha sido desarrollada maquinaria especializada para trabajar la tierra en el subsahara. Las donaciones y apoyos provienen de diversas organizaciones internacionales gubernamentales y no gubernamentales que buscan revertir el proceso de desertificación en el Sahel. Las prácticas tradicionales y el apoyo internacional pueden mejorar la calidad de vida de los habitantes, pero es necesario aplicar cambios estructurales severos en todos los ámbitos en los países sahelianos para realmente hacer a las naciones resilientes y combatir la desertificación.

Palabras clave: subsahara, cambio climático, precipitación, sequía, resiliencia

Résumé

Le Sahel est une région de transition climatique entre le désert du Sahara et la savane soudanaise. La bande comprend onze pays africains dont le paysage est désertique avec des plateaux compacts séparés par des dépressions naturelles. La région connaît une saison des pluies et une saison sèche qui fluctuent chaque année, comme c'est le cas depuis des milliers d'années. Cependant, de nos jours, les tempêtes et les sécheresses se produisent avec une plus grande intensité. Ces changements ont été attribués au réchauffement climatique causé par les activités anthropiques. Le problème de ces variations climatiques se traduit par l'augmentation du processus de désertification qui entrave la subsistance des habitants du Sahel. Ce problème converge avec des facteurs environnementaux, socio-économiques et géopolitiques tels que la circulation atmosphérique, la thermohaline, le phénomène El Niño, l'instabilité politique, l'insécurité alimentaire, les conflits armés, la famine, l'inégalité des sexes, l'exploitation des ressources, entre autres. Ces facteurs ont un impact important sur la réduction des bassins hydrologiques, l'expansion et la génération de maladies, les migrations et l'augmentation de l'effet albédo, entre autres. Toutes ces conséquences et impacts sont directement et indirectement liés au processus de désertification qui affecte le territoire. Afin de lutter contre ce processus, plusieurs projets ont été réalisés qui ont pris en compte les pratiques traditionnelles des tribus de collecte d'eau et d'ensemencement. En outre, des machines spécialisées ont été mises au point pour travailler la terre dans les régions sub-sahariennes. Les dons et le soutien proviennent de diverses organisations internationales gouvernementales et non gouvernementales qui cherchent à inverser le processus de désertification dans le Sahel. Les pratiques traditionnelles et le soutien international peuvent améliorer la qualité de vie des habitants, mais de profonds changements structurels doivent être mis en œuvre à tous les niveaux dans les pays du Sahel pour rendre les nations réellement résilientes et lutter contre la désertification.

Mots-clés : Afrique subsaharienne, changement climatique, précipitations, sécheresse, résilience.

Índice

Agradecimientos	ii
Resumen	iii
Résumé.....	iv
Lista de cuadros	vii
Lista de figuras.....	vii
Lista de abreviaciones y acrónimos.....	vii
Introducción.....	1
CAPÍTULO 1. El Sahel.....	7
1.1 Paisaje físico-ambiental	7
1.2 Paisaje demográfico	12
1.2.1 Población	14
1.2.2 Actividades de sustento	15
1.3 Paisaje socioeconómico.....	16
1.3.1 Las mujeres en el Sahel	18
1.4 Paisaje geopolítico.....	20
1.5 Sahel, covid-19, cambio climático	22
1.6 Conclusión	23
CAPÍTULO 2. La desertificación en el Sahel.....	24
2.1 Causas climáticas	25
2.1.1 Historia paleoclimática	25
2.1.2 Historia climática reciente.....	27
2.2 Prácticas antrópicas	32
2.2.1 Crecimiento poblacional y conflictos armados.....	33
2.2.2 Mercado internacional y globalización	35
2.3 Consecuencias e impactos.....	36
2.3.1 Reducción de cuencas hidrológicas y enfermedades.....	36
2.3.2 Sociedad, economía, hambrunas y migraciones.....	39
2.3.3 Efecto albedo.....	40
2.4 Conclusión	41
CAPÍTULO 3. Estudios de caso en el Sahel	42
3.1 Estudio de caso: Barreras mecánicas y biológicas para detener el avance de las dunas en Nigeria y Mauritania	46
3.1.1 Problemática.....	46
3.1.2 Enfoque y descripción de las técnicas utilizadas	47
3.1.3 Enseñanzas adquiridas.....	50
3.2 Estudio de caso: Técnicas de zaï más otras prácticas para favorecer la recuperación de agua y rehabilitación del suelo en dos regiones de Burkina Faso.....	51
3.2.1 Problemática.....	51
3.2.2 Enfoque y descripción de las técnicas utilizadas	52
3.2.3 Enseñanzas adquiridas.....	54
3.3 Conclusión	56
CAPÍTULO 4. Actores internacionales	57

4.1 Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola en el Sahel	58
4.2 Organización Meteorológica Mundial en el Sahel	60
4.3 Naciones Unidas y la Lucha Contra la Desertificación en el Sahel	61
4.4 Objetivos de Desarrollo Sostenible y el Sahel	63
4.5 Desafío de Bonn en el Sahel.....	65
4.6 Conclusión	66
Conclusión general.....	67
Recomendaciones.....	70
Bibliografía.....	73

Lista de cuadros

Cuadro 3. 1 Técnicas tradicionales aplicadas en la región del Sahel, estudios de caso.	45
-------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Lista de figuras

Figura 1. 1 Ubicación aproximada de la franja saheliana y los países que lo conforman (Tomado de: Puig, 2015).....	8
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

Figura 4. 1 Extensión de la gran muralla verde. Imagen tomada de: Goffner, <i>et al.</i> (2019).....	63
---------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Lista de abreviaciones y acrónimos

FAO	Food and Agriculture Organization
FIDA	Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola
GEI	Gases de efecto invernadero
IEEE	Instituto Español de Estudios Estratégicos
ITCZ	Intertropical Convergence Zone
ODS	Objetivos de Desarrollo Sustentable
OMA	Oscilación Multidecadal del Atlántico
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PIB	Producto Interno Bruto
SER	Society for Ecological Restoration
UNCCD	United Nations Convention to Combat Desertification
URSS	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas
USD	United States dollar
WFP	World Food Program
WWAP	World Water Assessment Program
WWF	World Water Forum
WWF	World Wide Fund

Desertificación en el Sahel: causas, consecuencias y prácticas para la restauración ecológica

Introducción

El cambio climático es un fenómeno que ha ocurrido de manera natural en la tierra desde su formación y a través de los periodos geológicos. Sin embargo; el término de cambio climático ha sido relacionado recientemente a las variaciones ambientales con efectos nocivos sobre los ecosistemas, atribuidos directa e indirectamente a las actividades antrópicas (UN, 1992). Se dice que estas prácticas han ido en aumento y con ellas la alteración de la composición atmosférica y la variabilidad climática en comparación con otros periodos de tiempo medible (EFC, 2004; Bates, 2008; OMM, 2016; Sánchez, 2016; UNIDDD, 2020; WWF, 2020). A pesar de que en siglos pasados existía la instrumentación para observar y dar seguimiento a la situación climática de la época, no fue hasta 1850 cuando se establecieron los primeros servicios meteorológicos. Estos sitios fueron creados con el fin de generar, difundir y realizar predicciones del clima y a partir de entonces, se cuenta con un registro confiable de la temperatura de la superficie del planeta (Palomares, s.f.). Hace poco más de un siglo, la temperatura global registrada era 0.8 °C menor a la actual (NOAA, 2020). Debido a estos cambios se ha llegado a decir que el cambio climático inició alrededor de 1960 (Estrada *et al.*, 2013). El aumento de temperatura ha sido considerado como una amenaza global debido a que acentúa y agrava otras amenazas como la pobreza, malnutrición, inseguridad alimentaria, aumenta el riesgo de epidemias, agrava los conflictos armados, aumenta el potencial de desastres naturales entre otros (EFC, 2004; UNCCD, 2014; Sánchez, 2016; IEEE, 2017) además de repercutir directa e indirectamente en la biota del planeta (UN, 1992). En el mismo sentido, acentúa procesos como la degradación de suelo y la desertificación, los cuales suponen otro riesgo a la existencia humana.

El cambio climático ha pasado de concepto y proceso natural a ser un tema de importancia tanto para la sociedad civil, organizaciones no gubernamentales, grupos de defensa del medio ambiente, así como un tema de interés político a nivel global. Las causas y efectos de este fenómeno han sido atribuidos a los seres humanos a tal

magnitud que se han acuñado términos como el de conciencia social (Mijares, s.f.; Gómez, 2009). Mijares (s.f.) señala que el interés y participación de la sociedad civil en la reparación del daño ocasionado al ambiente recae en la necesidad de adecuar las políticas públicas para un uso eficiente de los recursos naturales. En este contexto, se ha considerado que el cambio climático y las malas gobernanzas tienen una estrecha relación con el desarrollo de conflictos armados (Raleigh, 2010; UNCCD, 2014; Benjaminsen, 2016). Estas revueltas suelen estar asociadas a regiones con recursos escasos, condiciones climáticas extremas y condiciones socioeconómicas inequitativas. Este hecho se puede observar en países que son ricos en recursos estratégicos como el petróleo, oro y otros minerales de interés para la industria tecnológica, pero que requieren de otros países para la explotación de los minerales. Esta situación, aunada a la ausencia de gobernabilidad, el tráfico de mercancía ilegal y a las guerrillas, hacen que en estos territorios persista la inestabilidad, lo que repercute en la economía y la calidad de vida de los habitantes (Calduch, 2013).

Sabemos que la degradación de la tierra y del suelo son problemáticas importantes en países en vías de desarrollo y donde las sequías son prolongadas y recurrentes, pero ¿Qué es degradación y qué relación tiene con la desertificación? Existen diferentes definiciones de degradación, pero todas convergen en la problemática de desertificación. La UNCCD (2017) definen a la degradación de la tierra como la disminución o desaparición de la productividad biológica o económica del suelo y de su complejidad, ocurriendo la pérdida principalmente en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Ozer y colaboradores (2010) citan tres fenómenos causantes de la degradación de la tierra: la erosión del suelo causada por el viento o/y el agua; el deterioro de las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los suelos; y la desaparición a largo plazo de la vegetación natural. Kenneth (1985), Ozer, *et al.* (2010), SEMARNAT (2012) y UNCCD (2017) consideran que la degradación de la tierra es un proceso que puede conducir a la desertificación en zonas áridas. Esto puede ocurrir ya que las variaciones en estos ecosistemas pueden producir desequilibrios ecológicos a tal punto que se eliminan las condiciones adecuadas para las comunidades vegetales y animales que ahí se encuentran. Por otro lado, la FAO (2020) distingue la degradación de la

tierra y la degradación del suelo como dos fenómenos distintos. La degradación de la tierra la define como la erosión y la degradación de suelos en conjunto. Mientras que la degradación del suelo lo presenta como un cambio en la salud del mismo y que puede resultar en la disminución de la capacidad ambiental de producir bienes o prestar servicios. En este sentido específico, el proceso de degradación del suelo no es un problema único de las regiones áridas, sino que afecta a los diversos ecosistemas del planeta (UNCCD, 2014).

La desertificación y la degradación de tierras son problemáticas ambientales mundiales con carácter de prioritarias. La situación imperativa de estos fenómenos ha influido en su consideración en los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), describiendo los alcances en el objetivo 15. En párrafos anteriores se mencionó la relación de la degradación de la tierra con la desertificación, entonces ¿Qué es la desertificación? El término de desertificación es mas o menos reciente, fue mencionado por primera vez oficialmente por las Naciones Unidas a mediados de los setenta (Mariñas, 1977). El concepto surgió después de la catástrofe de sequías y hambruna ocurridas en el Sahel entre 1970 y 1975 (Kribeche, 2014). Las Naciones Unidas definen a la desertificación como la degradación del suelo en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas como resultado de la interacción de las variaciones climáticas, características del medio biofísico y las actividades humanas (Mariñas, 1977, Le Houérou, 1996, UNIDDD, 2020; ONU 2020;). La FAO (2020) señala que la desertificación es un cambio sin retorno a las propiedades originales o iniciales del medio. En este sentido, se puede decir que la resiliencia es el estrecho hilo que separa o une un ecosistema degradado de uno en proceso de desertificación. Sin embargo, desde los ecosistemas en proceso de desertificación hasta los que se encuentran en categoría de irreversibles suelen caracterizarse por la disminución o/y desaparición de la flora en todos los estratos, la reducción de las actividades biológicas del suelo y el aumento de la erosión ocasionadas por agua o por el viento (Conedera, *et al.* 2010). Diversos autores (Conedera, *et al.* 2010; Ozer *et al.*, 2010; Shmite y Nin, 2015; Dartagnan y Díaz, 2017) concuerdan que el cultivo extensivo (aumento de la tierra cultivada) (Enriquez-Sarano, 2000), el sobrepastoreo, la deforestación y una ineficaz gestión de la tierra y el agua,

entre ellas la reducción de los tiempos de barbecho, la escasa delimitación de los terrenos de pastoreo (Enriquez-Sarano, 2000), el riego excesivo y la construcción de canales y diques a gran escala (UNCCD, 2014), agudizan el proceso de degradación de la tierra y lo llevan a un proceso de desertificación.

Se estima que para el 2050, el 90% de la tierra en el mundo estará degradada, entre los continentes más afectados estarán Asia y África. En este sentido, la degradación del suelo del planeta pasó de un 14% a un 30% en un periodo de 30 años (UNCCD, 2014). Para el 2014, las tierras secas representaban el 34% de la superficie a nivel mundial. Estas zonas son de alto valor ya que 500 millones de personas las trabajan y dos mil millones de personas se alimentan de ella (UNCCD, 2014). Datos de la UNCCD (2014) revelan que cada año se pierden cerca de 12 mil millones de hectáreas de tierra cultivable a causa de fenómenos como las sequías y la desertificación. Si hablamos en términos de producción, esto equivale a la pérdida de 20 millones de toneladas de cereales por año. Por lo anterior, se prevé que para el año 2050 cerca de 700 millones de personas migren por la escasez de recursos (Cherlet *et al.*, 2018). ¿Qué sucede con África y la desertificación? El continente africano ha sufrido gravemente los embates de las variaciones climáticas, de la degradación del suelo y del proceso de desertificación. Un ejemplo es la sequía ocurrida en 1960 que ocasionó miles de muertes por la acentuada inseguridad alimentaria que aqueja al continente (Puig, 2015). De acuerdo con el foro mundial del agua (WWF por sus siglas en inglés) (2000), la tercera parte de la población africana habita zonas ambiental y socioeconómicamente frágiles debido a las constantes sequías. En este sentido, González (2001) menciona que al menos el 50% de las zonas subhúmedas y semiáridas de la parte meridional de África tiene un riesgo entre moderado y alto de padecer desertificación. Las prácticas antrópicas también son un parteaguas que enfatizan los procesos de degradación y desertificación. Según UNCCD (2014), de continuar con las prácticas de sobreexplotación de los recursos, el rendimiento de los cultivos podría reducirse hasta un 50%. Estas características de las zonas áridas de África tienen efectos en las poblaciones y son visibles en el aumento de migraciones, pérdida de conocimientos

tradicionales, conflictos entre los pueblos y desaparición de culturas ancestrales (Bates, 2008; Cherlet *et al.*, 2018).

Un ejemplo de las duras condiciones climáticas, sociopolíticas y económicas en África es la región subsahariana. La zona se sitúa al sur del desierto del Sahara formando una franja que corre paralelamente al desierto. En esta franja ocurre un proceso natural de avance de las dunas llamado desertización (Shmite y Nin, 2015) el cual se convierte en un problema cuando amenaza la cobertura vegetal comenzando un proceso de desertificación. En algunas partes de la región, el desierto del Sahara avanza hacia el sur de 10 a 30 kilómetros cada año (Shmite y Nin, 2015; Kabunda, s.f.). Es importante señalar que esta franja no genera grandes emisiones de CO₂ ni contribuye de manera importante a las emisiones globales (3% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) mundiales en comparación del 27% producto de China). Sin embargo y contrariamente a lo anterior, se trata de la región más propensa a eventos significativos como hambrunas debido al calentamiento global y GEI. Esta alta fragilidad se debe a su situación geográfica, climas extremos, su vulnerabilidad socioeconómica y ambiental, y a la falta de resiliencia (IEEE, 2017; Kabunda, s.f.). Estudios en el Sahel han mostrado los efectos del cambio climático en esta zona. Se tienen datos de un aumento de entre 1.5 a 2 °C en la temperatura en un periodo de 40 años, disminución de 150 mm en las precipitaciones en un periodo de 22 años, desplazamiento de entre 25 a 35 km hacia el sur de las zonas verdes, pérdida de flora y fauna, desplazamiento de dunas y un incremento en el número de sequías (González, 2001; Chappell y Agnew, 2004; EFC, 2004; UNCCD, 2014; Nin, 2015; Puig, 2015; IDEAM-UNAL, 2018; Shmite y Kabunda, s.f.). Como se ha sugerido anteriormente, los factores ambientales no son los únicos que contribuyen a la desertificación. Factores antrópicos como el pastoreo intensivo, deforestación, prácticas de siembra inadecuadas (UNCCD, 2014; Shmite y Nin, 2015). Factores socioeconómicos como la pobreza, marginación, crecimiento poblacional, conflictos armados. Geopolíticos como la explotación de los recursos minerales y combustibles por países desarrollados, movilización de tropas extranjeras dentro de los territorios, suministro de armamento a las guerrillas entre otras causas. La suma de estos factores puede converger no solo en la desertificación, sino

también en daños económicos, sociales y sanitarios ocasionados por conflictos armados, inestabilidad política y social, y escasez de recursos (Raleigh, 2010).

Como es de esperarse, diversos organismos internacionales y nacionales se han pronunciado en apoyo a esta zona geográfica. Es en este sentido que la restauración ecológica ha tomado relevancia para mitigar los daños causados principalmente por las acciones humanas. La sociedad para la restauración ecológica (SER por sus siglas en inglés) ha sido uno de los actores principales en este proceso. Esta sociedad ha publicado guías para la restauración ecológica la cual definen como un proceso que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema, todo ello respecto a su salud, integridad y sostenibilidad. En este sentido, la restauración trata de retomar un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido a un estado similar de inicio. Mediante esta directriz se están llevando a cabo iniciativas para la restauración de las zonas degradadas en el Sahel. Entre estas iniciativas destaca la Gran Muralla Verde, la cual es financiada por el Banco Mundial, las Naciones Unidas y la Unión Africana entre las principales (Sacande, *et al.*, 2015). Una de las iniciativas propone la plantación de familias de fabáceas, poáceas, balanitaceas y arecáceas entre otras en cerca de 15 kilómetros de ancho y ocho mil kilómetros a lo largo de la franja saheliana (Sacande, *et al.*, 2015; Moncada, 2018). El propósito de la iniciativa es contener el avance de la desertificación al norte del Sahel. Derivado de esta iniciativa, el programa Acción Contra la Desertificación (AAD por sus siglas en inglés) ha iniciado la restauración de mas de siete mil hectáreas en Burkina Faso. El desarrollo del proyecto es llevado a cabo a través de la inoculación de bacterias y hongos simbióticos naturales en las plantas de acacia que son plantadas en la muralla. Este proyecto se encuentra a cargo del Instituto de Investigación Ambiental y Agrícola de Burkina Faso (INERA por sus siglas en francés) y mediante su desarrollo se pretende conocer de que manera las bacterias y hongos ayudan a resistir las sequías, mejorar su crecimiento y la producción de goma (FAO, 2019). Como este, diversos proyectos se llevan a cabo en la franja subsahariana con el propósito de restaurar las zonas degradadas (Laveissière, 1976; Grouzis, *et al.*, 1989; De Graaff y Stroosnijder, 1994; Jensen y Hajej, 2001; Manzo, *et al.*, 2009;

Conedera, *et al.*, 2010; Bouri y Dhia, 2010; Manzo, *et al.*, 2013; Sacande, *et al.*, 2015; Berrahmouni, *et al.*, 2017; Adamou, *et al.*, 2021).

CAPÍTULO 1. El Sahel

El capítulo que a continuación se presenta está dividido en cuatro vertientes de interés, el panorama físico-ambiental, el demográfico, el socioeconómico y el geopolítico. El paisaje físico-ambiental aborda la ubicación de la franja saheliana dentro del continente africano mencionando su relación con el desierto del Sahara y la sabana sudanesa, fronteras norte y sur del Sahel. Se describen las características ambientales como la temperatura, la humedad y se hace especial énfasis en las precipitaciones. Éstas establecen los límites septentrionales y australes de la franja saheliana. Se mencionan las principales corrientes hídricas dentro de la franja, así como sus usos generales. Se habla de la vegetación dentro de la región subsahariana y muy brevemente se mencionan las ecozonas descritas por el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF por sus siglas en inglés). El paisaje demográfico describe de manera general los modos de vida de las poblaciones dentro de la franja y como estas dependen de las estaciones climáticas. Se mencionan las religiones prevalecientes, las etnias y tribus de las cuales se describen sus modos de vida y los conflictos y guerrillas los cuales son motivados principalmente por la escasez de recursos o el poder sobre ellos. El marcado deterioro económico y social de la región, así como las políticas públicas tanto nacionales como internacionales se mencionan en el paisaje socioeconómico y geopolítico. Además, se hace una breve reflexión sobre la problemática de la pandemia de SARS-CoV-2 y como ésta ha agravado la situación del Sahel y como algunos pueblos han respondido de manera resiliente. Se habla del papel de las mujeres dentro de las comunidades sahelianas y sus principales obstáculos dentro de ellas.

1.1 Paisaje físico-ambiental

El Sahel se caracteriza por ser una franja bioclimática que se extiende más de cinco mil kilómetros al sur del desierto del Sahara (Tucker *et al.*, 1985). Esta característica le da el nombre de orilla, borde o frontera, palabra que deriva de la lengua árabe y hace referencia a su límite con el desierto. La franja cruza el continente africano desde el mar

Rojo hasta el océano Atlántico (IEEE, 2017). El ancho es variable a lo largo de su recorrido, puede ir desde los 200 km (Pierre, 2005; Shmite y Nin, 2015) hasta los 1,000 km (IEEE, 2017). El área ocupada por la franja es de aproximadamente cuatro millones de kilómetros cuadrados. Referente a su ubicación, algunos autores la sitúan entre los paralelos 13° a 18° de latitud norte (Julivert, 2003; Shmite y Nin, 2015), otros la ubican en los 15° norte (Blanco, 1991; Goudie, 2002 citado por Criado, 2008) mientras que otros la colocan entre los 10° hasta los 20° norte (Puig, 2015) (fig. 1.1). Lo cierto es que todas estas variaciones podrían ser correctas debido al desplazamiento de las dunas y de la cobertura vegetal a lo largo del tiempo como se verá en párrafos y capítulos posteriores. El número de países que conforman el Sahel también varía. Nso (2007), Morales (2011) y Shmite y Nin (2015) ubican a 10 países: Mauritania, Senegal, Malí, Burkina Faso, Etiopía, Nigeria, Eritrea, Níger, Chad, Sudán mientras que IEEE (2017) añade a Sudán del Sur (Fig. 1.1).

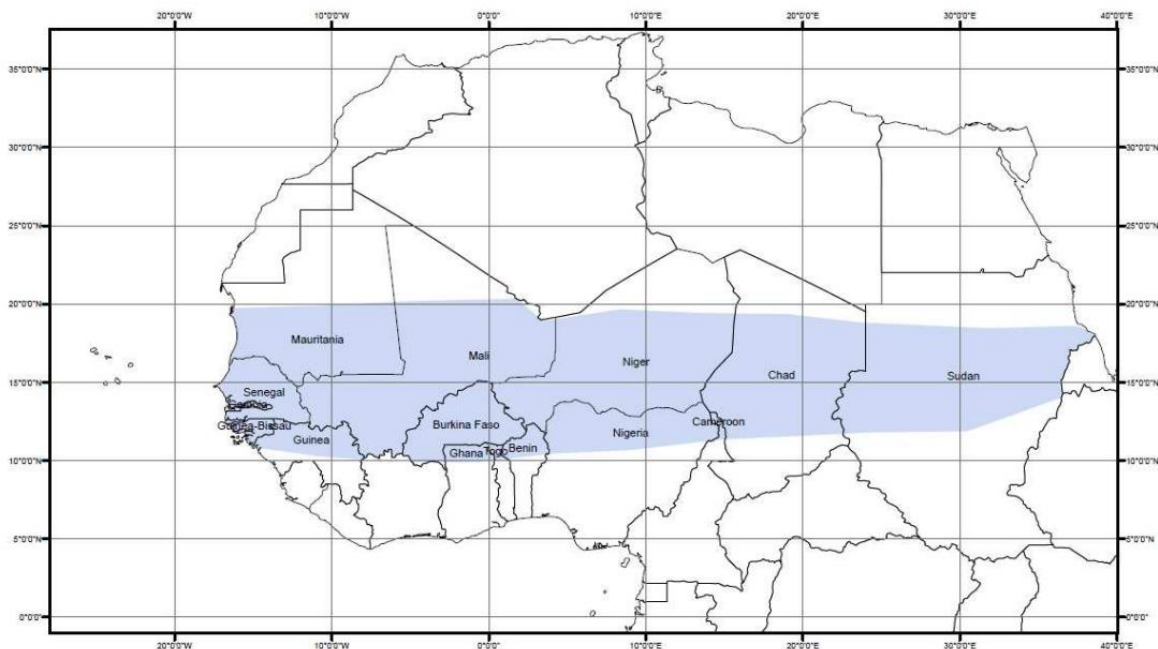


Figura 1. 1 Ubicación aproximada de la franja saheliana y los países que lo conforman (Tomado de: Puig, 2015).

En general, el paisaje subsahariano se compone de mesetas planas de arena compactada con costras de sal de hierro en su superficie llamadas ferruginosas (Pierre,

2005). Este paisaje de mesetas está separado por hondonadas o depresiones naturales que pueden alcanzar hasta cinco metros de profundidad. En estas depresiones se acumulan arenas blancas que son arrastradas por el viento y sobresaltan del paisaje rojizo de las dunas (Pierre, 2005; Gorse, s.f.). En varias zonas del Sahel es posible observar rocas de granito deformadas. Estas rocas pueden ser de origen ígneo o metamórfico y por su irregularidad, el agua de lluvia suele acumularse en ellas pudiendo ser la única fuente de abastecimiento en kilómetros (Pierre, 2005). Como se ha sugerido, los suelos son pobres en nutrientes y tienen una baja capacidad de retención de agua, por tanto, son poco fértiles (Gorse, s.f.)

La ubicación geográfica, la extensión territorial y la forma del continente africano generan variaciones atmosféricas sobre el territorio y una fuerte interacción entre las zonas biogeográficas (Criado, 2008). Por un lado, al norte de la franja saheliana encontramos al desierto del Sahara, el cual mide aproximadamente ocho millones de kilómetros cuadrados y es considerado el mayor desierto del mundo (Criado, 2008). En la zona de transición con el Sahel, al sur del desierto, las precipitaciones van de los 100 a los 200 mm anuales (Julivert, 2003; Gandía y Meliá, 1993; Puig, 2015; IEEE, 2017) y la temperatura media máxima alcanza los 40 °C (Criado, 2008). La isoyeta de 150 mm anuales marca el límite septentrional del Sahel (Julivert, 2003; Ozer y Ozer, 2005; Ozer, *et al.*, 2010; Shmite y Nin, 2015). El clima es semiárido y los fuertes vientos que se producen arrastran arena del desierto del Sahara formando mesetas. Por otro lado, al sur de la franja saheliana hallamos la región sudanesa donde predomina la sabana, las praderas de gramíneas, relictos de bosque caducifolio y selvas de galería. En la parte norte de esta zona, en su límite con el subsahara, las precipitaciones van desde los 400 a los 600 mm anuales (Gandía y Meliá, 1993; Julivert, 2003; Puig, 2015; IEEE, 2017) y la temperatura media anual varía de 24 a 28 °C (Blanco, 1991). El clima es subtropical (Julivert, 2003; Pierre, 2005; Ozer, *et al.*, 2010; Shmite y Nin, 2015) y las lluvias monzónicas (700 a 1200 mm de lluvia anuales) marcan el límite austral del Sahel (Pierre, 2005; Ozer, *et al.*, 2010). En consecuencia, el Sahel (200 a 400 mm de lluvia anual) es una zona de transición entre el desierto del Sahara y la sabana sudanesa.

Cada año se presentan variaciones importantes en cuanto al régimen de lluvias y el periodo de secas en el Sahel (Puig, 2015; Dartagnan y Díaz, 2017). Estas variaciones se asocian al movimiento errático de la zona de convergencia intertropical (ITCZ por sus siglas en inglés), a las células anticiclónicas tropicales que chocan con el aire seco provenientes del Sahara y a las masas de altas presiones provenientes del aire tropical del sudan. Además, la extensión territorial del norte de África impide la influencia de vientos marítimos hacia el interior del territorio (Criado, 2008). El 80% de las precipitaciones se concentran en verano, es decir, de mayo a octubre con un periodo de máxima precipitación en agosto (Dartagnan y Díaz, 2017). La estación lluviosa del Sahel es irregular, suele estar localizada y se caracteriza por presentar tormentas imprevistas e intensas (Gorse, s.f.). Esta estación se alterna con periodos prolongados de sequía durante el invierno (Shmite y Nin, 2015; IEEE, 2017; Dartagnan y Díaz, 2017; IEEE, 2020).

Los ríos y lagos son las principales fuentes de obtención y almacenamiento de agua en la franja. A continuación, haremos referencia a los más importantes para las comunidades sahelianas. El río Níger nace en el macizo del Futa Djalon, en Guinea, atraviesa Mali y en su recorrido hacia el norte crea un delta interior el cual se inunda durante las lluvias. La corriente del río atraviesa Níger y desemboca en Nigeria donde forma un delta en el golfo de Benguela en el océano Atlántico (Julivert, 2003). El río recorre más de cuatro mil kilómetros y su caudal se reduce de manera importante en época de secas (Pierre, 2005). Presenta una vegetación importante en sus márgenes, sin embargo; se encuentra afectado por el lirio de agua dulce (*Eichhornia crassipes*). Esta planta es originaria del Amazonas, se reproduce de manera rápida y dificulta la navegación. Por otro lado, el río Nilo es considerado el más largo del mundo, fluye hacia el norte, nace en dos zonas geográficas distintas y cruza zonas climáticas diferentes por lo que su longitud es variable. El Nilo Blanco nace en el lago Victoria, en Burundi, y en su recorrido hacia el norte atraviesa los países subsaharianos de Sudán del sur y Sudán. El Nilo azul nace en el lago Tsana, en Etiopía y converge con el Nilo Blanco en Jartún, Sudán donde cambia su nombre a río Nilo (Sánchez, 2017). Este río aporta agua dulce a once países africanos de los cuales 3 son subsaharianos (Sudan

del sur, Sudán y Etiopía). Su uso se centra en el doméstico, industrial, agricultura de regadío, centrales hidroeléctricas y como recurso pesquero (Sánchez, 2017). Otra corriente importante dentro del Sahel es la cuenca del río Senegal, la cual cuenta con una longitud de más de 1,500 kilómetros. Se halla al occidente de África subsahariana y es considerado el segundo río más largo en el Sahel. La cuenca del río Senegal comprende los países de Guinea, Malí, Mauritania y Senegal encontrándose la mayor parte dentro del subsahara. La cuenca se divide en cuenca alta, valle y delta (ONU y WWAP, 2003). Las principales actividades dentro de ella son la agricultura de regadío, hidroeléctrica y se está generando un proyecto para navegar a través del río el cual busca transportar mercancía desde el océano Atlántico hacia el interior a través del Sahel hasta Guinea (ONU y WWAP, 2003). El lago Chad es una cuenca hidrológica que se halla en la parte central de África en los países de Nigeria, Níger, Chad y Camerún. Se estima que 20 millones de personas dependen de las aguas de dicho lago para su subsistencia (Romero, 2012). El lago es irrigado por varios ríos, entre los principales se encuentra el río Chari-Logone, el cual le proporciona el 95% de la entrada total de agua (Romero, 2012). Las principales actividades son uso doméstico pesca, pastoreo y agricultura de regadío.

En referencia a la vegetación, la literatura menciona un incremento en la densidad y en la composición de la vegetación de norte a sur (Criado, 2008; Falcón, 2014; IEEE, 2020) a través de las ecozonas Sahara, Sahel y Sudán. ¿Qué sucede con la vegetación en el Sahel? Distintos autores (Julivert, 2003; Pierre, 2005; WWF, 2017) destacan dos zonas de transición en el Sahel basados en la densidad y composición florística, así como el régimen de precipitación. La primera va del norte hacia la parte central del subsahara. Presenta una vegetación esteparia donde predominan las gramíneas espinosas que son representadas por *Cenchrus biflorus* (Julivert, 2003). Debido a la formación de mesetas ferrugionosas mencionadas en párrafos anteriores, es común la asociación de vegetación halófila. Esta vegetación es conocida localmente como brousse tigrée y se refiere a la flora que se encuentra en manchones, es de difícil acceso y constituye la principal fuente de obtención de leña. Dentro de esta asociación destacan *Acacia ataxcantha* (Pierre, 2005) y *Acacia senegal*, esta última es fuente de

obtención de la goma arábiga que fue comercializada en el antiguo Egipto y actualmente es utilizada para bebidas, confitería, fármacos entre otros (López-Franco, *et al.* 2006). Destaca también el cultivo de mijo que es un cereal de bajos requerimientos nutritivos y de agua. Éste cereal se cultiva desde la isoyeta de 150 mm de precipitación anual (límite con el Sahara) hasta los 300 mm y constituye la base alimentaria de los habitantes del Sahel (Julivert, 2003; Pierre, 2005). La sabana herbácea o arbustiva es la vegetación que caracteriza la segunda región, la cual va del centro al sur del Sahel, en su límite con el Sudán. En esta zona destaca el arbolado ralo y arbustos como *Balanites aegyptiaca*, *Maerua crassifolia* (Julivert, 2003). Más hacia el sur, la isoyeta de 800 mm de precipitación anual marca la presencia de árboles de gran envergadura como el baobab (*Adansonia digitata*). Los pobladores utilizan sus semillas como alimento para el ganado vacuno y caprino (Julivert, 2003; Pierre, 2005). Por otro lado, WWF destaca las ecorregiones paleártica y afrotropical dentro del subsahara. Las ecorregiones se ven delimitadas por las precipitaciones, la vegetación y las altas montañas. La primera ecorregión se caracteriza por lluvias variantes a lo largo del año, temperaturas que van de los 26 a los 30 °C y no existe vegetación endémica. La zona es una estrecha franja al sur del Sahara que congrega a los países de Mauritania, Mali, Algeria, Níger, Chad, Sudan, Senegal y Burkina Faso (WWF, 2017a). La ecorregión afrotropical se encuentra en la parte central de África, la zona este de Chad y una pequeña área del oeste de Sudan. Se localiza entre las altas montañas del Sahel, las lluvias son variantes según la elevación y hay especies endémicas, principalmente de vegetación (WWF, 2017b).

1.2 Paisaje demográfico

La población saheliana está conformada por grupos autóctonos, migrantes y colonizadores principalmente franceses (O'Connor, 2003) llegando a sumar más de 60 millones de personas. Se dice que la población se encuentra repartida inequitativamente en los territorios de Mali, Mauritania, Níger y Chad ya que muchas personas abandonan las zonas rurales y se desplazan hacia las ciudades en estos países. La migración se presenta como una problemática de política pública y una alternativa motivadas principalmente por los conflictos armados, la búsqueda de

mejores condiciones de vida (Ballesteros, s.f.) y por las sequías recurrentes (Calduch, 2013; Ndiaye e Iñiguez, 2019). Debido a que las migraciones tienden a dirigirse de las zonas rurales hacia las capitales, la situación genera que el gobierno destine más recursos hacia las capitales que hacia las poblaciones rurales. La pobreza extrema en la región, así como la falta de políticas públicas sobre todo en educación, transportes y comunicación, y sanitarias resulta en que el índice de desarrollo humano se encuentre entre los más bajos del mundo (Calduch, 2013; Ndiaye e Iñiguez, 2019). La franja subsahariana es considerada como la región más pobre del mundo (Turner, 1999; Julivert, 2003; Ozer y Ozer, 2005; Calduch, 2013; Shmite y Nin, 2015; IIEE, 2017) con una esperanza de vida que apenas rebasa los 60 años y en caso de Chad es menor todavía (Banco Mundial, 2020; Ballesteros, s.f.). Sumado a esto, más del 40% de la población tiene menos de 14 años y la mitad de la población son mujeres que sufren desigualdad en todos los aspectos. En contraparte, el Sahel presenta la tasa de natalidad más alta del mundo (Calduch, 2013; IIEE, 2017; Ballesteros, s.f.; Sánchez, s.f.). En Níger la media de hijos por mujer es de 7.6 (IIEE, 2017), dato que posiciona a este país como el de mayor número de hijos por mujer a nivel mundial, mientras Mauritania presenta la menor tasa de natalidad dentro de la región. La población del Sahel incrementa en un 3% anual (Calduch, 2013). De acuerdo con diversos autores (Calduch, 2013; IIEE, 2017) si el ritmo de crecimiento poblacional continua así, la población del Sahel se duplicará en los próximos 20 años.

Debido al carácter desértico, en la región se desarrollan distintos modos de vida modulados por la cantidad de agua de las precipitaciones y la presencia de estanques o corrientes hídricas. La vida nómada se desarrolla principalmente hacia el norte de la franja, donde las condiciones de sequía suelen ser más severas debido a la cercanía con el desierto del Sahara. Aquí pueden mezclarse las actividades pastoriles con las campesinas (Remy, *et al.* 1982). Los pastores se desplazan en búsqueda de agua para sus rebaños, estableciéndose en estos sitios por algún tiempo mientras duren las lluvias o existan acumulaciones de agua. Yendo hacia el sur se encuentran grupos nómadas y sedentarios que desarrollan y asocian actividades de comercio, agricultura, pastoreo y/o ganadería (Remy, *et al.* 1982; Calduch, 2013; Ballesteros, s.f.). Cerca del límite con la

sabana sudanesa es posible hallar comunidades sedentarias debido a que las condiciones ambientales mantienen una cubierta herbácea a lo largo del año (Remy, *et al.* 1982). En estas zonas es más común la agricultura de secano, la cría de ganado y la trashumancia (Remy, *et al.* 1982).

1.2.1 Población

En el Sahel se mezclan diversidad de culturas, lenguas y religiones debido a la posición geográfica, la distribución poblacional y colonización. Existe una inequitativa distribución poblacional en comparación con la extensión territorial de algunos países dentro de la franja. Dentro de estas áreas olvidadas han surgido gran variedad de etnias y tribus, cada una de ellas con lenguaje e ideologías distintas (Calduch, 2013). Estos grupos han desarrollado una fuerte identidad propia y un fuerte sentido de pertenencia étnico llegando a crear su propia nación (Ballesteros, s.f.). Entre los grupos étnicos que destacan encontramos a los tuaregs, pueblo nómada cuya tierra ancestral se ubica al norte de Malí. Los songhais también consideran el norte de Malí como su tierra prometida. Esta tribu surgió en 1464 tras la caída del imperio de Malí y fue derrocado por tropas marroquíes compuestos en gran parte por hispanos en 1591. A raíz del derrocamiento, pueblos de origen árabe, bereberes y españoles pudieron asentarse en Tombuctú en Mali, y zonas aledañas. Esta situación originó una mezcla entre songhais y españoles dando origen a los arma. Otras tribus dentro del territorio son los fulani o peuls, pastores nómadas extendidos en gran parte de África occidental que tuvieron control del norte de Malí durante el siglo XIX y que han formado alianzas con el grupo terrorista de los yihadistas (Torres, 2019). Además de estas culturas, también se hallan los bambara y los dogón que son granjeros sedentarios y los senufos, pueblo nómada que compite por el territorio fértil (Torres, 2019; IEEE, 2020; Ballesteros, s.f.).

En el ámbito religioso, debido al libre desplazamiento entre fronteras, las culturas árabes e islámicas del norte se han mezclado con los grupos étnicos del sur (Pierre, 2005). La presencia de religiones como la musulmana, cristiana y minimista deriva de estas uniones y del periodo de colonización europeo (Calduch, 2013). Sin embargo; el territorio está formado en su mayor parte por estados y pueblos islámicos (Shmite y Nin,

2015) haciendo del islam su principal religión (Calduch, 2013; Ballesteros, s.f.). La mezcla de pueblos ha originado una gran diversidad de lenguas, pero el idioma predominante, y por tanto oficial, es el francés y en algunas zonas el árabe. Las tribus sahelinas han desarrollado normas de conducta social basadas en su organización y en sus valores tradicionales que han perdurado por varias generaciones. Este arraigo tradicional de grupos organizados se basa en los vínculos de sangre por lo que es complicado el mestizaje salvo excepciones. Este sentido de pertenencia, el fuerte tradicionalismo, el sentido de arraigo ancestral con el que cuentan algunas tribus en el Sahel hace que los proyectos de nación se vean dificultados o violentados, impidiendo que el estado pueda garantizar su seguridad (Calduch, 2013).

1.2.2 Actividades de sustento

Las poblaciones que viven dentro del área subsahariana dependen de las lluvias para su sustento. Su principal actividad es la agricultura y el pastoreo, pero como se vio anteriormente, el clima es fluctuante y las lluvias son impredecibles por lo que las poblaciones tienen que adaptar sus modos de vida. Al norte, la agricultura se basa en el regadío a partir de la captación de aguas subterráneas. Debido a las condiciones climáticas y edáficas de esta zona, los cultivos son limitados y en su mayoría se encuentran concentrados en los oasis (Julivert, 2003). El pastoreo y la agricultura son alternadas con comercio hacia el norte a través del Sahara. En tiempos de déficit hídrico y avance del desierto, las tribus avanzan hacia el sur en búsqueda de tierras cultivables (Kenneth, 1985). Mientras tanto, hacia el sur de la franja habitan tribus sedentarias que hacen de la agricultura extensiva su principal actividad de subsistencia. Esta actividad se basa en agricultura de secano (Remy, *et al.* 1982; Julivert, 2003; Ozer, *et al.*, 2010; UNCCD, 2014). Gandía y Meliá (1993) mencionan que el cultivo de mijo y sorgo constituyen la principal base alimentaria de las poblaciones en la región. En las zonas donde no hay desierto, se practica el pastoreo nómada, realizada en distintas modalidades por los diversos grupos étnicos (Dartagnan y Díaz, 2017). Debido al avance de tribus nómadas hacia el sur, la población aumenta en esta zona. Esta

situación genera conflicto entre nómadas y agricultores debido a la competencia del recurso hídrico y, por tanto, de tierras cultivables (Calduch, 2013; IEEE, 2020).

A lo largo del Sahel existen tribus que utilizan sistemas tradicionales para la recuperación de agua (Bates, 2008) y para actividades de agricultura. En este sentido, pueblos como los wolaita, en Etiopía, mantienen un sistema de agricultura tradicional basado en la arboricultura. Este sistema consiste en cultivar diversos vegetales en pequeñas áreas que son rodeadas de árboles o arbustos. En estos sistemas, tanto los vegetales como los árboles son de utilidad para los pobladores (Planel, 2008). En cuanto a la recuperación de agua, los pueblos que habitan en el delta de Saloum en Senegal, practican la recolección del agua de lluvia en estanques. Se trata de una práctica tradicional que realizan de manera artesanal y local. En 2009, la fundación Caritas Kaolack llevó a cabo un proyecto para la elaboración de estanques a base de ferrocemento con una capacidad de 10 a 15 m³ (Arene, 2009). Por otro lado, aquellas poblaciones que habitan a orillas de ríos y lagos, la pesca es otra manera de sustento. El río Níger por ejemplo, es una de las fuentes principales de obtención de alimento. En el se practica la pesca y en las márgenes los habitantes cultivan arroz y árboles frutales como cítricos, mangos y cucurbitáceas (Pierre, 2005). Sin embargo; también es fuente de enfermedades parasitarias, algunas de ellas endémicas. El gusano de guinea (*Dracúnculus medinensis*) es una enfermedad endémica de esta zona y surge ya que beben el agua del río sin aplicar algún proceso de filtrado (Pierre, 2005).

1.3 Paisaje socioeconómico

La socioeconomía del Sahel se ve afectada por diversos factores tanto ambientales como sociales y políticos. Se puede decir que la socioeconomía se divide por sectores, los cuales se clasifican de acuerdo al trabajo o actividad realizada y las ganancias adquiridas. En el sector primario destaca la agricultura, ganadería, pesca, pastoreo y minería (Calduch, 2013; Ndiaye e Iñiguez, 2019; IEEE, 2020). La mano de obra utilizada para estas actividades es mal pagada. Aunado a lo anterior, la mayor parte de estas actividades, así como la estabilidad social se ve afectada por el régimen de precipitaciones de la franja. De acuerdo con IEEE (2020), gran parte de los movimientos armamentistas dentro del Sahel tienen un trasfondo en la escasez de

recursos alimentarios ocasionados por la falta de agua y las sequías. Los movimientos causados por estos factores han sido llamados revueltas de hambre y ocurren en sitios donde las poblaciones dependen totalmente de las lluvias para su subsistencia lo que repercute en su economía y en su salud (IEEE, 2020). Por otro lado, se hallan la población cuya actividad está relacionada a las exportaciones de minerales como oro, hierro, uranio, fosfatos, petróleo y gas natural entre otros. Destacan también las actividades relacionadas con las instituciones gubernamentales donde el personal se enlista en las fuerzas armadas y de seguridad (Calduch, 2013). Otro sector poblacional se encuentra inmerso en actividades ilegales y de delincuencia organizada, que, a pesar de su naturaleza, dejan ingresos importantes dentro de la región (Calduch, 2013). El robo, secuestro, extorción, tráfico de personas, armas y estupefacientes son las actividades ilícitas más vistas (Calduch, 2013).

En general, existe una ralentización en la economía saheliana que se refleja en la disminución de los precios de las materias primas, dificultad para ofrecer sus productos en el mercado internacional, desaceleración y desequilibrio (IEEE, 2017). El deterioro económico de la franja se hizo más profundo en 2020 derivado de las medidas sanitarias para combatir el SARS-CoV-2. Esta situación ha sido aprovechada por grupos delictivos de Malí para el reclutamiento de niños y niñas para el trabajo en minas de oro. Las condiciones a las que son expuestos son explotación laboral y económica, además se encuentran expuestos a abusos físicos, sexuales y psicológicos (ACNUR, 2020). Eventualidades como pandemias, conflictos geopolíticos, terrorismo, desacuerdos políticos, baja de precios del petróleo entre otros; causan un debilitamiento en el desarrollo de políticas públicas, economía y en general del desarrollo humano (IEEE, 2017). En el 2016, todos los países de la franja subsahariana fueron considerados como menos desarrollados por el Fund for Peace. Por otro lado, el indicador del desarrollo humano, a través de sus criterios de esperanza y calidad de vida, nivel educativo e ingresos per cápita consideró a todos los países de la franja del Sahel como países con bajo desarrollo humano (IEEE, 2017).

Los países que conforman el Sahel presentan el PIB per cápita más bajo del mundo. Níger representa el PIB más bajo dentro del Sahel con poco más de \$500 USD anual.

En cambio, Mauritania apenas supera los \$1,600 de PIB per cápita. Cabe mencionar que Burkina Faso y Chad no superan los \$800 y Mali apenas los sobrepasa. Se considera que el crecimiento poblacional es la principal razón del estancamiento del PIB en estos países (IEEE, 2017; Ballesteros, s.f.). El nivel de desempleo asciende entre el 18 al 30% en la región, y al no contar con prestaciones o ayuda gubernamental, la población queda desamparada (Ballesteros, s.f.). Entre el 60% y el 70% de la población saheliana depende de la agricultura para su sobrevivencia, pero únicamente el 5% de ella es de regadío. En términos del PIB per cápita, la agricultura corresponde entre el 30% o 40% de la economía de la región (Ndiaye e Iñiguez, 2019). Se ha estimado que la disminución del 10% de lluvias causaría la reducción del 4.4% de la producción alimentaria lo que ubica a esta franja en una situación de inseguridad alimentaria (IEEE, 2017).

1.3.1 Las mujeres en el Sahel

La economía del subsahara muestra una inestabilidad que es guiada por las condiciones ambientales, así como por los conflictos armamentistas y por las políticas internacionales. En este punto es importante preguntarnos ¿Cuál es la participación de las mujeres en el avance económico dentro de la región? o ¿Qué tanta desigualdad existe entre el poder adquisitivo de las mujeres y hombres en el Sahel? Para comenzar, Ndiaye e Iñiguez (2019) mencionan que existe una desigualdad adquisitiva entre los distintos países que conforman la franja, pero estas desigualdades convergen en el umbral de pobreza extrema de los habitantes, pero ¿qué tan complicada es la situación para las mujeres? La ausencia de políticas sociales, así como la cultura tradicionalista hace que el acceso a la tierra y los recursos de producción se encuentren limitados para las mujeres. La cultura arraigada de las poblaciones sahelenses mantienen costumbres como el matrimonio infantil y la escisión. La primera situación implica que las niñas dejen los estudios a temprana edad lo que significa una pérdida de capital económico y humano para el mundo laboral (Ndiaye e Iñiguez, 2019). La subordinación de las mujeres hacia los hombres es otra práctica tradicional que conlleva, además del matrimonio forzado y/o infantil, la imposición de roles entre ambos géneros. Entre los

roles impuestos destacan la obligación de ser amas de casa sin tener decisión sobre el gasto familiar, ocuparse de las aves de corral, recolección de agua y leña entre otros (Oxfam, 2011). Es importante subrayar que esta situación se halla en todos los países que conforman la franja subsahariana.

La brecha ente ambos géneros se hace aún mas profunda debido a las normas tradicionalistas. Además de limitar su acceso a la tierra y a medios de producción, estas normas culturales asignan las tierras menos fértiles, rentables y más pequeñas a las mujeres (Oxfam, 2011; Ndiaye e Iñiguez, 2019). Aunado a ello, las mujeres reciben la mitad de la herencia de tierras de las que reciben sus hermanos. Las mujeres sahelianas no tienen acceso a créditos para la producción, así como a insumos e información (Oxfam, 2011) lo que las coloca en desigualdad de oportunidades económicas frente a los hombres. Aunado a lo anterior, los conflictos armados tienden a envilecer la percepción y autoestima de las mujeres. Durante los enfrentamientos, las mujeres son violadas, secuestradas y utilizadas como suicidas terroristas en los distintos ataques perpetrados (ONU news, 2018).

Cabe mencionar que aun cuando las mujeres representan del 70 al 90% de la fuerza agrícola laboral, solo el 8% son propietarias (Oxfam, 2011; Ndiaye e Iñiguez, 2019). Los embates de las sequías y del cambio climático afectan de mayor manera a los terrenos de las mujeres. Esto debido a que heredan o adquieren las tierras con las peores condiciones, además de no contar con insumos, herramientas y muchas veces de información básica de como trabajar la tierra (Oxfam, 2011). Los efectos del cambio climático, la desertificación y sobreexplotación hacen que el agua, la leña y los alimentos escaseen, lo que se traduce en un aumento en el esfuerzo de búsqueda y mayor carga de trabajo para ellas ya que son las responsables de brindar el alimento a la familia (Oxfam, 2011). Esta situación empeora su mala nutrición ya que disminuyen sus porciones alimentarias dándolas a sus esposos, hijas e hijos. Pero aún cuando la situación no se ve idónea como las circunstancias actuales referentes al SARS-CoV-2, pueblos de pastores de Mbororo en Chad, representados por mujeres, han demostrado resiliencia a la actual situación manteniendo la economía local a través del conocimiento tradicional que han ido retomando (UNESCO, 2020).

1.4 Paisaje geopolítico

Para comprender mejor este paisaje retomaremos un poco de la historia de la colonización-independencia, de las corrientes ideológicas y de la riqueza de recursos en la franja. A finales del siglo XIX y principios del XX, durante el periodo de colonización, países europeos realizaron una activa búsqueda de yacimientos minerales en el Sahel. El objetivo era construir infraestructura para extraer los recursos que fueran encontrados. Sin embargo, existió dificultad para su explotación por lo que hubo una reducida extracción de minerales en esa época (IEEE, 2020). Tras una serie de conflictos armados, la parte occidental del Sahel se independizó de Francia en 1960, mientras que el extremo oriental de la franja obtuvo su independencia de Italia en 1993. Tras la independencia, empresas principalmente francesas, estadounidenses y chinas incrementaron su presencia en la zona con el fin de obtener derechos de explotación de los recursos (Morales, 2011). Entre los recursos de interés internacional destacan las reservas de petróleo y gas natural, reservas de oro de Mali, reservas de uranio de Níger que es considerado el segundo productor mundial de este mineral (Morales, 2011; Sánchez, s.f.). La intrusión de potencias extranjeras para la explotación de recursos trajo conflictos entre las tribus sahelianas. En su camino por obtener el derecho de explotación, los países extranjeros apoyaron las diferencias entre los pueblos dotándoles de armas y dinero para la obtención del control de los yacimientos (IEEE, 2020). Estas acciones agravaron los conflictos internos y la distribución inequitativa en la economía del Sahel. Tal es el caso de Chad donde las tribus minoritarias lograron retener los ingresos de las concesiones mineras. Por otro lado, los movimientos armados para obtener el control son más recurrentes y violentos en aquellos países donde se tiene un sistema democrático. De igual manera, la influencia de ideologías externas ha marcado pautas importantes en el Sahel. Las ideas socialistas fueron impulsadas de manera importante dentro del territorio antes del derrocamiento de la URSS. Otra fuerte influencia ha sido el islam denominado wahabismo. Es una rama teológica proveniente de las corrientes musulmanas iniciada en Arabia Saudita la cual se desarrolla hacia un objetivo político-religioso y esta sustituyendo al islam tradicional. Ha tenido importantes implicaciones internacionales por ser considerada como fuente de terrorismo. Por otro lado, Gadafi buscó apoyo en las tribus nómadas de tuareg para

expandir su dominio. Tras su caída, las tribus perdieron a su líder lo que ocasionó que la tribu se viera inmersa en comercio ilegal entre el mediterráneo y el Sahel (IEEE, 2020).

En la actualidad varias potencias basan su economía en la explotación de los recursos del Sahel. Por ejemplo, más del 70% de la energía eléctrica de Francia es producida a través de reactores nucleares (Foro nuclear, 2019). El 30% del uranio utilizado para estas centrales es obtenido, por la empresa Areva, en minas de Níger (Morales, 2011; Grimaldo, 2013). En 2008, China firmó un contrato para explorar un yacimiento de petróleo en la misma zona donde la empresa francesa Areva extrae uranio (Morales, 2011). Mauritania es otro país importante para China debido a sus vías marítimas por lo que ha construido el mayor puerto pesquero (Sánchez, s.f.). Además, se ha planteado el mallado de la región debido a la iniciativa de la Nueva Ruta de la Seda (Sánchez, s.f.), el trazado de esta ruta cruza transversalmente el Sahel. En 2010, la empresa estatal rusa Gazprom firmó un acuerdo para construir un gaseoducto para transportar entre 20 mil y 30 mil millones de m³ de gas hacia la costa del mediterráneo. Este proyecto contempló enlazar Nigeria con Argelia atravesando gran parte del Sahel (Morales, 2011).

La mayor parte de las naciones sahelianas obtuvieron su independencia entre los años sesenta a noventa después de un periodo de colonización que inició a finales del siglo XIX y vio su culminación a principios del siglo XX. En los últimos años los países han enfrentado golpes de estado, guerrillas, falta de recursos, entre otros debido a que son naciones jóvenes. La falta de madurez política los convierte en estados frágiles con instituciones débiles (Ballesteros, s.f.). La ausencia de poder estatal y de administración, y la falta de control han generado actividades delictivas como crimen organizado y terrorismo. En este sentido, destaca la presencia de grupos terroristas como Al Qaeda, que afectaron a Mali y Níger principalmente. Las fronteras no se encuentran delimitadas por lo que son de fácil acceso y difíciles de controlar, al no existir barreras naturales, aumenta el tráfico ilegal, tráfico de personas y de sustancias ilícitas, además del tráfico de armas hacia zonas de conflictos (Morales, 2011). La escasez de infraestructura, el déficit de gobernanza, el cambio climático, el bajo nivel de

desarrollo y un nivel de inseguridad elevado hacen que las condiciones dentro del Sahel sean muy complicadas (Sánchez, s.f.).

1.5 Sahel, covid-19, cambio climático

Si bien, el brote de covid-19 y las medidas para contenerlo han puesto en jaque a la economía mundial, es de esperar que las economías, ambientes y países más vulnerables representen las mayores afectaciones. Ya mencionado en párrafos anteriores, la mayor parte de la economía y modos de vida de los países subsaharianos dependen en gran parte de las condiciones estacionales. Por ellas determinan el momento de migrar y hacia donde hacerlo, pero ¿Qué sucede cuando estás en medio de una pandemia? Las comunidades indígenas de Mbororo en Chad, son un pueblo nómada de pastores que depende de las estaciones para su subsistencia debido a que las condiciones de desertificación restringen el acceso al agua y la siembra. La diferencia con otros pueblos es que dentro de sus líderes se hallan mujeres. Por la situación actual, su movilidad se ha visto restringida por el cierre de fronteras debido a las medidas anti covid. Esta situación ha ocasionado la escasez de recursos básicos como el alimento y el agua lo que pudiera generar enfrentamientos entre los habitantes. La falta de agua agrava la problemática de la pandemia ya que se les sugiere el lavado continuo de manos para evitar el contagio, pero el recurso no está presente. En medio de la situación, el pueblo ha retomado los conocimientos de medicina, recolección de agua y siembra tradicional lo que ha generado conciencia en el cuidado del medio ambiente entre los habitantes y resiliencia a las situación ambiental y social actual (UNESCO, 2020). Hindou O. Ibrahim, mujer miembro de la comunidad ha mencionado que tanto “el SARS-CoV-2 como el cambio climático han aumentado la inseguridad alimentaria, la vulnerabilidad y la falta de adaptación” por lo que es importante la resiliencia de los pueblos (UNESCO, 2020).

La pandemia de COVID-19 ha exacerbado los conflictos armados, la pobreza extrema, la inseguridad alimentaria y las consecuencias del cambio climático dentro de la franja saheliana. Esta situación ha obligado el desplazamiento de mas de 21 mil personas en búsqueda de refugio y asilo en otros países y dentro de los propios. Además, ha puesto en jaque a las ya escasas políticas públicas por falta de protocolos de salud, seguridad,

transporte y educación (ACNUR, 2020b). Diversas organizaciones internacionales y no gubernamentales han mostrado su preocupación y han realizado aportaciones importantes. Tal es el caso de la Comisión Europea que ha aportado mas de \$50 millones de dólares con el fin de reforzar el apoyo humanitario en la región (IPS, 2020). La Agencia de la ONU para los Refugiados ha construido mas de 108 alojamientos en comunidades de Burkina Faso para los desplazados por los conflictos civiles y ha brindado apoyo en salud, alimentación y educación (ACNUR, 2020b).

1.6 Conclusión

La ubicación geográfica y sus características físico-ambientales caracterizan al Sahel. Sin embargo, si las políticas públicas estuvieran destinadas a mejorar la salud, educación, calidad de vida de sus habitantes y hacer eficaz el uso de los recursos naturales, posiblemente estaríamos hablando de un panorama socioeconómico y geopolítico distinto. Es una zona donde existe una grave problemática ambiental que converge con aspectos socioeconómicos y políticos, nacionales y extranjeros, que requiere ser atendida desde los diversos puntos de inflexión. Por mencionar un ejemplo, se sabe que las sequías pueden causar hambrunas y que éstas pueden tener consecuencias, entre otras, muerte y desplazamientos. En este contexto, se ha mostrado que los sistemas tradicionales han jugado un papel positivo en la subsistencia de los pueblos y que los hacen resilientes a las condiciones climáticas. ¿Qué pasaría si, dentro de la política pública de los países sahelianos, se encontrara destinar apoyos económicos o en especie sustanciosos a estas poblaciones para ayudar a su labor de recolección de agua y siembra?, ¿Qué pasaría si en lugar de destinar el mayor capital a las ciudades se realizara equitativamente hacia las zonas rurales?, ¿Qué pasaría si la cultura tradicionalista apoyara de igual manera a mujeres y hombres? ¿Qué pasaría si los países extranjeros realizaran un pago justo por los recursos explotados?

Quizá aun no tengamos las respuestas claras de cómo se debería actuar a nivel nacional e internacional para mejorar las condiciones en el Sahel. Pero la historia nos ha mostrado que la intrusión militar no es la respuesta correcta para mejorar la situación. Tal es el caso de la operación Serval, llevada a cabo en 2012, donde países extranjeros, entre ellos Francia, se volcaron en una guerra contra el régimen yihadista

(Pérez, 2015). Estas acciones solo provocaron más guerrillas, levantamientos y opresión contra la población civil, principalmente mujeres. En otros términos, en la actualidad se habla del empoderamiento y del sentido de apropiación y pertenencia, recursos que tienden a fortalecer una comunidad y mejorar sus condiciones de vida. En este sentido, la apropiación cultural y el sentido de pertenencia a una comunidad, así como el empoderamiento de las mujeres en estas comunidades pueden cambiar las estructuras sociales pudiendo comenzar una transformación importante y profunda. La aplicación correcta de las normas y leyes, traducidos como el respeto, las libertades, los derechos, las igualdades, las responsabilidades... y la comprensión de su finalidad, podrían mejorar las condiciones sociales, económicas y políticas a través de los recursos legales. En este mismo sentido y en conjunto con todos los aspectos anteriores, se podría lograr políticas públicas más adecuadas para lograr la resiliencia a las condiciones climáticas, la seguridad alimentaria, el uso eficiente de los recursos y acciones encaminadas a disminuir la desertificación en el subsahara ¿Qué tan lejos estaremos de observar resiliencia en el Sahel?

CAPÍTULO 2. La desertificación en el Sahel

A continuación, se presentan algunas de las causas climáticas y prácticas antrópicas y sus impactos en el proceso de desertificación. Se describe el paleoclima en la región subsahariana durante el periodo cuaternario, así como las oscilaciones climáticas ocurridas durante este periodo. Actualmente la región se encuentra en un ciclo de relativa estabilidad, sin embargo; se ve influenciado por distintos factores como la circulación atmosférica y la temperatura marina. La influencia de estos factores y las prácticas antrópicas han causado desequilibrio en el clima mundial y que aqueja gravemente en la desertificación y avance del Sahara poniendo en riesgo la seguridad alimentaria del Sahel. El incremento poblacional, el mercado mundial; así como aspectos mencionados en el capítulo anterior referentes a la falta de políticas públicas agravan las condiciones de vida de los habitantes. La escasez de agua, el desarrollo de enfermedades, migraciones, conflictos armamentistas, el aumento de la refracción de la luz llamado efecto albedo ocasionado por la disminución de la cubierta vegetal y

hambrunas son algunas de las consecuencias causadas por las prácticas antrópicas y factores ambientales que convergen en la desertificación de la zona.

2.1 Causas climáticas

Los cambios climáticos son causados por diversos factores como la cercanía-lejanía al sol, y fenómenos naturales como el vulcanismo o choque de meteoritos (Bergoeing, 2009; Martínez, 2014). Varios autores concuerdan que fenómenos como los ciclos de Milankovitch, o la fuerza de gravedad ejercida por otros planetas causan alargamientos de la órbita terrestre provocando estos cambios cíclicos (Bergoeing, 2009; Martínez, 2014; Martínez, *et al.* 2017; Kent, *et al.* 2018). En este sentido, los ciclos de Milankovitch se refieren a las variaciones cíclicas de la órbita terrestre y los cambios ambientales que estas variaciones pueden causar cada miles de años (Martínez, *et al.* 2017). Las variaciones se basan en los parámetros de precesión, oblicuidad y excentricidad. El primero invierte la situación de veranos e inviernos en los hemisferios, la oblicuidad controla la estacionalidad y la tercera controla la energía solar recibida. Se dice que estos ciclos han sido los responsables de los periodos glaciares que ha sufrido la tierra, mejor descritos para el periodo cuaternario (Martínez, *et al.* 2017). Las condiciones climáticas, pluviométricas y desérticas actuales podrían ser parte de estos ciclos.

2.1.1 Historia paleoclimática

En cuanto a la historia climática de la región, se han registrado intervalos de periodos húmedos y secos los cuales han afectado las formas de vida en la zona a lo largo de miles de años. Es importante señalar que el surgimiento de la franja saheliana es relativamente reciente para los eventos geológicos y climáticos pasados. Su historia climática está estrechamente relacionada con los sucesos ocurridos en el Sahara por lo que se hará referencia a la historia climática de este último.

La formación del Sahara data a finales del pleistoceno y experimentó oscilaciones climáticas en el cuaternario (Castañeda, *et al.* 2009). De acuerdo con los datos obtenidos por Criado (2008), durante el pleistoceno inferior y medio, la región del

Sahara estaba lejos de ser un desierto. El clima era húmedo con presencia de.. grandes lagos, la vegetación y la fauna era abundante y diversa (Rognon, 1994 citado por Criado, 2008; Castañeda, *et al.* 2009). En este periodo se tiene registro de un intervalo seco ocurrido hace 2.5 millones de años (Ma) que se intercaló con condiciones húmedas que favorecieron la formación de lagos hace 1.8 Ma (Castañeda, *et al.* 2009). La variación climática en el Sahara se vio alternada entre periodos húmedos y secos entre el periodo de 1.7 y 1.3 Ma (Criado, 2008; Bergoeing, 2009). En éste último periodo (1.5 a 1.3 Ma) se registró una expansión de estepas de gramíneas derivado de una creciente aridificación. Se tienen registros de depósitos de agua en Mauritania que datan de hace 350 mil años (Criado, 2008).

Hace 125 mil años, el nivel del mar ascendió de 2 a 6 metros en la región del Sahara durante el periodo interglaciar (Criado, 2008). Entre el periodo que comprende de 140 a 71 mil años, existen registros sobre la formación de lagos de 100 kilómetros de largo y entre 20 a 50 metros de profundidad, además se tienen registros de grandes aportes de agua rica en materia orgánica (Rossignol-Strick, 1985) lo que indica un clima húmedo (Castañeda, *et al.* 2009; Molnar y Rajagopalan, 2020). El enfriamiento global inició hace 70 mil años y trajo consigo un aumento de los vientos saharianos lo que provocó la dispersión de grandes volúmenes de polvo. En torno a los 20 mil años, el desierto vuelve a expandirse hacia el sur, entre 300 a 500 kilómetros, llegando hasta los 12° y 10° de latitud norte (periodo Ogoliense), aunque se ve interrumpido con periodos húmedos. Durante este lapso, los ríos Senegal, Níger y Logone y el lago Chad se vieron interrumpidos por el avance de las dunas. De acuerdo con los datos obtenidos por Criado (2008), hace 12 mil años se registró una desaparición repentina de la parte sur del desierto del Sahara sin causas determinadas. Este es quizá el momento en que comienza la formación de la franja subsahariana.

Durante el holoceno, entre 11 a 7 mil años, se tiene registros de lluvias monzónicas las cuales permitieron la recuperación del curso de los ríos, alcanzando el máximo crecimiento del lago Chad y propiciaron la formación de numerosos lagos (Rossignol-Strick, 1985; Molnar y Rajagopalan, 2020). Los antiguos pobladores se establecieron a las orillas de las cuencas hidrológicas desarrollando la pesca y la caza como

actividades de subsistencia (Castañeda, *et al.* 2009). Tras este periodo de abundancia hídrica, se registró un periodo de sequía (entre 4.5 a 4 mil años) que condujo a la adopción de nuevas formas de vida como la ganadería y el pastoreo además de las que ya se practicaban. El proceso de aridificación (4 a 2.8 mil años) ocasionó el despoblamiento de las áreas donde era complicada la subsistencia. Sin embargo; con la domesticación del dromedario y la introducción de la palma datilera, fue posible el nomadismo y el desarrollo de agricultura de oasis, adaptando así los modos de subsistencia (Rossignol-Strick, 1985).

2.1.2 Historia climática reciente

En la historia reciente, el clima Sahara-Sahel alcanzó una relativa estabilidad con intercambios entre el clima húmedo y el seco hasta inicios del siglo XVI. En este siglo se registró un periodo de gran humedad hasta la primera mitad del siglo XVIII (Criado, 2008; IPCC, 2008), momento en el que registra una fase de enfriamiento denominada pequeña era de hielo (Criado, 2008). Desde este momento, han ocurrido fluctuaciones climáticas significativas ocasionando sequías importantes en la región del Sahel. De acuerdo con Nso (2007) y Shmite y Nin (2015), el Sahel ha sufrido cuatro sequías importantes durante el siglo XX, las cuales han coincidido con las peores hambrunas ocurridas en la región. La primera ocurrida en 1914-1915 provocó hambruna a gran escala. La segunda ocurrió entre 1942 a 1947. La sequía ocurrida entre 1968 a 1973 ocasionó la muerte de mas de 250 mil personas en el Sahel y fue considerada una catástrofe humanitaria (Watts, 1983). Además, causó que la isoyeta de los 800 mm anuales se desplazara 100 kilómetros al sur lo que generó un incremento en la frecuencia y magnitud de las tormentas de polvo y con ello grandes migraciones humanas. Cabe señalar que después de las sequías severas ocurridas entre 1942-1947 y 1968-1973, los periodos subsecuentes se caracterizaron por periodos húmedos (Taylor, *et al.* 2017). La cuarta, ocurrida entre 1983 y 1985 que provocó hambruna en la población mundial repercutiendo principalmente en países en desarrollo como el Sahel, llamado cinturón del hambre (IEEE, 2017). Durante el siglo XXI de igual manera han ocurrido sequías severas en esta región. En el año 2009, se presentó una sequía

extrema caracterizada por lluvias puntuales y escasas. Esta situación ocasionó la reducción en la producción agrícola y de forraje que conllevó a una crisis alimentaria en 2010 (Oxfam, 2010). Es importante destacar que las hambrunas muchas veces ocurrieron con antecedentes de revueltas, plagas o/y la mala gestión política aunado a las sequías como se verá más adelante.

En el año 2017, Taylor y colaboradores analizaron datos de lluvia obtenidos de un periodo de 34 años (1982-2016). De acuerdo con sus resultados, el número e intensidad de las tormentas se ha caracterizado por un aumento constante. Mencionan que actualmente las células de tormentas (zonas donde la presión atmosférica es más baja que el aire del entorno y el aire al interior circula en dirección ascendente, descendente y verticalmente siendo potenciales para grandes tormentas) (Martín, *et al.* 2007) pueden extenderse varios cientos de kilómetros y tener mayor tiempo de duración. Además, pueden alcanzar mayores alturas en la atmósfera y son potenciales para descargar una mayor cantidad de agua en un periodo corto de tiempo (Biasutti; 2019). También observaron que las variaciones en el número de tormentas por año se han incrementado. Estas tormentas pasaron de una media de 20 grandes tormentas anuales en los años ochenta a 80 grandes tormentas por año en la actualidad. Mencionan que actualmente el periodo de sequía es más largo y extremo mientras que el periodo de lluvia suele presentarse de manera intensa, a gran escala y representa la única lluvia en el año (Nicholson, 2005; Taylor, *et al.* 2017; Biasutti; 2019; IEEE, 2020).

Diversos autores coinciden en que los cambios en los patrones de fenómenos como la cuña salina, la temperatura superficial oceánica, fenómeno del niño y circulación atmosférica entre otras, tiene relación en el cambio del régimen de precipitaciones y la severidad de las sequías (Shinoda, 1990a; Shinoda 1990b; Schlesinger y Ramankutty, 1994; Biasutti, 2019). En este mismo sentido, se sabe que las actividades antrópicas también ejercen una fuerte influencia en el clima mundial. Estudios apuntan a que el uso de aerosoles puede causar variaciones climáticas mundiales más severas en comparación con el cambio de usos de suelo en un nivel local (Bates *et al.* 2008). Es importante notar que, si bien es cierto que los cambios climáticos y anomalías de fenómenos naturales agravan las sequías y ocasionan desequilibrio en la seguridad

alimentaria de los países sahelianos, existen otros factores que las exacerban. A continuación se presentan algunos fenómenos naturales y actividades antrópicas que tienen el potencial de repercutir en el clima del Sahel.

2.1.2.1 Circulación atmosférica

En términos generales, la circulación atmosférica es el movimiento del aire atmosférico alrededor del globo terráqueo. La circulación del aire se ve influenciada por la temperatura del ecuador y de los polos, fenómeno que mantiene en equilibrio la temperatura del planeta (Jáuregui, 2003). El movimiento de estas masas de aire, según su procedencia, pueden generar ciclones, anticiclones, nortes entre otros. Los efectos de este fenómeno y su influencia en el clima del Sahel han sido estudiados por diversos investigadores (Shinoda, 1990a; Taylor *et al.* 2017; Biasutti, 2019). Sin embargo; aún cuando se intenta entender sus implicaciones en las sequías en el Sahel, no se ha podido comprender del todo. Shinoda (1990a) realizó diversos estudios para conocer la relación entre las sequías y la circulación atmosférica en un periodo de veinte años (finales de los 60's - mediados de los 80's). Su estudio se basó en dos vertientes. El primer objetivo se basó en un análisis del cinturón tropical africano y su relación con la disminución de las precipitaciones en el Sahel. Para el segundo objetivo comparó los patrones de distribución de las precipitaciones en el continente africano con la circulación atmosférica durante los años mas secos y húmedos.

En base a la literatura, existen diversas causas relacionadas con la circulación atmosférica que pueden ocasionar sequías severas y/o lluvias torrenciales. Por ejemplo, a finales de los años veinte hasta mediados de los sesenta, se registró en el Sahel un periodo muy húmedo a causa de las lluvias constantes. Esta situación se debió a las precipitaciones anormales ocurridas en el cinturón de lluvia de África y de su avance hacia el norte gracias al movimiento de los vientos (Shinoda, 1990a). En relación con los periodos de sequía ocurridos en el subsahara, entre 1968 a 1987, se mencionan diversas causas que convergen en la circulación atmosférica. Entre las causas se señala el desplazamiento hacia el sur del cinturón de lluvias africano y el incremento de la temperatura en el golfo de Guinea en los años 1968, 1973 y 1987. Lo anterior sugiere que la temperatura superficial de los mares que rodean al continente

africano influye en el lugar y en la cantidad de precipitación recibida (Shinoda, 1990b; Taylor *et al.* 2017; Biasutti, 2019). El debilitamiento y desplazamiento de la zona de convergencia intertropical (ITCZ) hacia los 10° de latitud norte, lo que provoca ausencia o baja cantidad de precipitaciones al norte, es decir; en el Sahel (Shinoda, 1990b; Taylor *et al.* 2017). La intensificación de los anticiclones subtropicales (la fuerza de los vientos de las tormentas generadas cerca de los trópicos) suprimió la interacción de la ITCZ con otras corrientes de aire lo que generó un aumento en altura y temperatura del aire (Shinoda, 1990b). Este aumento puede deberse al fenómeno de subsidencia, el cual seca y estabiliza las masas de aire generando cielos despejados evitando la formación de nubes. El fenómeno anticiclónico también generó el debilitamiento de la celda de Hadley sobre el Sahel (Shinoda, 1990a). La célula Hadley se ubica entre el ecuador y los 30° hacia ambas latitudes. Se describe como la circulación vertical de los vientos donde el aire caliente se eleva y en su recorrido hacia el norte, en la latitud 25°, se desvía hacia ambas latitudes ocasionando el fenómeno de subsidencia (Jáuregui, 2003; Inzunza, s.f.). Como dato de interés, es en estas zonas de subsidencia donde se hallan los desiertos más grandes del mundo como el Sahara (Inzunza, s.f.). Cualquier cambio en las corrientes atmosféricas puede causar una reducción de la precipitación total del cinturón de verano del norte (Shinoda, 1990a). En este sentido, Biasutti (2019) menciona que las precipitaciones en el subsahara son dinámicas y se encuentran ligadas a la circulación global de Hadley y las corrientes de circulación de monzones. De acuerdo con Shinoda (1990a), la principal diferencia entre los años húmedos y los secos puede observarse en la intensidad de los anticiclones subtropicales.

2.1.2.2 Termohalina

Para entender de manera general la importancia de la termohalina del océano Atlántico comenzaremos subrayando su influencia en las precipitaciones del Amazonas y del Sahel, así como el cambio climático mundial (Meincke, *et al.* 2003). La termohalina es un sistema complejo influenciado principalmente por la temperatura, la salinidad, el momento (corrientes de aire sobre el mar) y las masas de agua (profundas, superficiales, polares, ecuatoriales) (Iglesias, 2010). La circulación termohalina del atlántico implica el movimiento de aguas salinas y cálidas en la superficie hacia el

hemisferio norte, sitio donde se enfrían, se sumergen y regresan hacia el hemisferio sur y circula hacia los demás océanos (Stouffer, *et al.* 2006). La temperatura superficial del mar en el Atlántico Norte ha registrado variaciones y un aumento de temperatura (Delworth y Mann, 2000; Taylor *et al.* 2017; Biasutti, 2019; Cheng, *et al.* 2020) de 0.4 °C durante el último siglo (Prego, 2018). Estas variaciones han sido denominadas oscilaciones multidecadales atlánticas (OMA). Este fenómeno podría explicar los periodos cálidos entre 1930 y 1960, y los periodos fríos entre 1905 a 1925 y 1970 a 1990 (Schlesinger y Ramankutty, 1994). En este sentido Biasutti (2019) considera que las anomalías en la temperatura del mar fueron las principales causas en las sequías ocurridas en los setentas y ochentas en el Sahel. Nouaceur y Murarescu (2020) obtuvieron en su estudio que las precipitaciones del subsahara se encuentran relacionadas con la temperatura superficial del océano Atlántico. A partir de 1990 se ha registrado un incremento en la temperatura global. Se cree que la OMA puede estar relacionada con los cambios en la intensidad de la circulación termohalina del Pacífico, del Índico y del Atlántico (Delworth y Mann, 2000; Bates *et al.* 2008) y ha sido relacionada con las anomalías multidecadales de las sequías ocurridas en el Sahel (Bates *et al.* 2008).

El fenómeno del Niño y de la Niña son eventos de calentamiento/enfriamiento de la superficie oceánica, su interacción con la presión atmosférica puede causar cambios en la distribución e intensidad de las precipitaciones a nivel global. Además, las variaciones en el transporte de agua dulce, típico de estos eventos, pueden causar cambios en la termohalina cuando se trata de eventos anormalmente largos, lo que influye de manera importante en el clima mundial (Iglesias, 2010). En este sentido, el fenómeno del Niño puede conducir a una baja precipitación como ocurrió entre 1972-1973 en el Sahel. Esta situación ocasionó más de 200 mil personas afectadas entre muertos y desplazados (Pabón y Montealegre, 2017). Considerando los eventos anteriores, es de suponer que la presión ejercida sobre los recursos naturales a nivel mundial y el consecuente calentamiento global causarán el vertimiento de mayor cantidad de agua dulce a los océanos provenientes del deshielo teniendo como consecuencia tormentas y sequías más severas.

2.2 Prácticas antrópicas

Como se ha mencionado en párrafos anteriores, las variaciones de lluvias en la región subsahariana han establecido estilos de vida distintos. Por un lado, se encuentran los territorios donde las precipitaciones no son favorables a lo largo del año además de la escasa o nula presencia de vertientes hídricas. Aquí, los pobladores tienden a asociar la agricultura con la ganadería o el pastoreo independientemente de la condición nómada o sedentaria. En estos sitios se lleva a cabo la agricultura de regadío como se vio en el capítulo 1. Por otro lado, tenemos a las poblaciones sedentarias dentro de la isoyeta de 600 mm anuales. En esta región las tierras suelen estar lo suficientemente húmedas para mantener condiciones propicias para el mantenimiento de árboles y plantas. En estos sitios, es posible la cría de ganado y la trashumancia, así como la agricultura de secano (Remy, *et al.* 1982). La demanda de agua de los rebaños y el ganado, determina la extensión de los pastos accesibles y regula el movimiento del rebaño, que va desde los pastos hasta los sitios donde es posible obtener agua (Remy, *et al.* 1982). Es en este punto donde se puede observar la influencia humana sobre la vegetación de la zona. La problemática de este estilo de vida no es la introducción de especies no nativas, sino la alteración de la cubierta vegetal y la alteración de los sitios en sí. De esta manera, las plantas leñosas son cada vez más escasas debido a su uso para energía en el hogar, la extensión de la vegetación se reduce por la construcción de casas y se altera el flujo hídrico con la construcción de canales (Granados-Sánchez *et al.*, 2013). Shmite y Nin (2015) describen cuatro causas principales que intervienen en el proceso de desertificación: el cultivo extensivo, el sobrepastoreo, la deforestación y los sistemas de irrigación inapropiados. Sin embargo, estas actividades suelen ser la única práctica de subsistencia dentro de las comunidades del Sahel. Estas prácticas conducen a la sobreexplotación de los recursos y por consiguiente a la disminución de la cubierta vegetal, pérdida de la humedad superficial del suelo, aumento de la temperatura en el aire, del suelo y de su superficie, aumenta la evaporación y aumentando el efecto albedo superficial (Courel *et al.*, 1984).

En las cuencas, como en la del río Senegal, destacan la producción y diversificación de cultivos de arroz, cebolla, tomates, papas entre otros. En el área de cuencas, la

ganadería es una actividad económica importante. De acuerdo con ONU y WWAP (2003), las poblaciones ribereñas suelen practicar la trashumancia y ganadería extensiva. La pesca se considera la segunda actividad económica de importancia después de la agricultura. En los últimos años, el nivel de ríos y lagos se ha visto disminuido debido a presas, diques y centrales hidroeléctricas, los cuales han causado eutrofización del agua (ONU y WWAP, 2003). En el lago Chad, no existe reglamentación sobre el derecho de acceso al agua lo que ha provocado la sobreexplotación de los recursos (Romero, 2012).

Si bien, es cierto que dichas actividades tienen como propósito la producción de alimentos básicos para la subsistencia de las poblaciones de la región, así como la búsqueda del desarrollo económico. Factores como el crecimiento poblacional, reducción de barbechos, rotación inadecuada de cultivos, monocultivos, sobrepastoreo, deforestación hacen que el aprovechamiento de los recursos sea ineficiente e insuficiente y tiendan a la degradación del suelo e incrementen el riesgo de desertificación (Shmite y Nin, 2015).

2.2.1 Crecimiento poblacional y conflictos armados

La tasa de natalidad del Sahel es una de las más altas del mundo y la población se incrementa a un ritmo de 3% anual (Calduch, 2013; IEEE, 2017). De continuar con esta tendencia, el número de ciudadanos sahelianos podría duplicarse en los próximos veinte años, lo que aumenta la presión sobre el suelo, la vegetación, el agua; ya escasos y de difícil acceso. Según Kenneth (1985), en muchas zonas de la franja, los recursos ya han alcanzado y sobre pasado el límite de su capacidad de producción. En otras circunstancias, las tribus sahelianas sabrían adaptarse a la falta de agua y a las sequías recurrentes. Esto debido a que, según Kenneth (1985), las sociedades en la franja contaban con conocimientos tradicionales como el pastoreo nómada o la rotación de cultivos, que han ido perdiendo importancia o se perdieron debido a la colonización. En el siglo XIX, la población sedentaria del norte de Nigeria producía básicamente para el consumo del hogar. La estructura doméstica incluía la familia nuclear, clientes y esclavos (Watts, 1983). La organización socioeconómica se basaba en la producción,

distribución y pago de impuestos por parte del dueño o representante del hogar. Cada hogar se encontraba bajo el resguardo de un jefe de aldea en un conjunto de comunidades. El jefe de aldea tenía la responsabilidad de venta de tierras y reparto de aldeas. El sustento de los hogares se basaba en la producción de artesanías y de productos básicos. En este periodo, el estado controlaba los medios de coerción, brindaba protección a los campesinos y comerciantes ambulantes, organizaba proyectos a gran escala y actuaba como garante en tiempos de sequía y falta de alimentos (Watts, 1983). Los productos básicos se sustentaban en variedades locales de cereales, basados en la estrategia de intercalado de sorgo y mijo según las variaciones de humedad, tipo de suelo, duración de las lluvias. Estos plantíos eran complementados con cultivos resistentes a las sequías como la yuca, además de actividades de recolección y caza. Las comunidades contaban con reservas de semillas y cereales con las que hacían frente a las continuas sequías y la escasez de alimentos (Watts, 1983).

Estas estructuras gubernamentales y sociales fueron eliminadas debido a los conflictos armamentistas y conquistas ocurridos a finales de 1800 y principios de 1900. En 1898, el ejército francés sometió a pueblos tribales, como los arma, bambara y tuareg, restringiendo su acceso al río (Ahmed, 2018). De esta manera controlaría la economía y modos de vida de estas tribus, además de causar divisiones entre los pueblos. Algunas alianzas se formaron entre los conquistadores franceses y tribus del subsahara ayudando así a la represión de revueltas. De acuerdo con Ahmed (2018), la política de colonización francesa se basaba en la destrucción de las estructuras sociales, lo que ocasionó la pérdida de conocimientos de subsistencia tradicionales como la recolección de agua y modos de siembra. Estas acciones tuvieron consecuencias graves que condujeron a la hambruna de 1914. Por otro lado, el conflicto armado en Ogaden (1977-1978), impulsado por la guerra fría, ocasionó enfrentamientos entre somalíes y etíopes apoyados por los Estados Unidos y la Unión Soviética respectivamente. En este conflicto salió victorioso el ejército etíope gracias al apoyo de la URSS, pero las guerrillas estaban lejos de acabarse. Los somalíes saquearon los comercios y viviendas, mataron ganado, violaron y asesinaron a mujeres etíopes, lo mismo para el

bando contrario. Los enfrentamientos entre rebeldes y el ejército continuaron por 6 años más. Durante este tiempo y para combatir las rebeliones, los pozos de agua fueron bombardeados y envenenados, los cultivos fueron quemados, confiscaron y mataron ganado, fue restringida la migración, el comercio y cultivo, además el ejército consumió y eliminó las reservas de granos de los agricultores (Gómez de Mercado, 2018). Todas estas acciones, aunado al de por sí ecosistema frágil, ocasionó la hambruna de 1984. Puede decirse que el clima, por si solo, no es el factor causante de un desequilibrio en la productividad de los recursos; sino que las acciones humanas son igualmente importantes (Kenneth, 1985).

2.2.2 Mercado internacional y globalización

Después de las sequías ocurridas entre 1914 y 1974, la región saheliana captó la atención internacional de investigadores, organizaciones, gobiernos y sociedad civil que acudieron con el fin de ayudar a la población. La llegada del apoyo trajo consigo nuevas técnicas de siembra, así como ideas de expansión económica mediante la importación y la exportación. Varias de estas ideas no consideraron la situación ambiental ni el mercado socioeconómico de la región. Por ejemplo, en Nigeria se permitió el comercio de bienes y alimentos importados a precios más bajos que los productos nacionales. Tal es el caso del arroz importado, el cual era vendido en un precio más bajo que las variedades de arroz que eran sembrados tradicionalmente por la población. Tomó el mismo camino el trigo importado, que se convirtió en parte de la dieta de los habitantes desplazando de las mesas al sorgo y al mijo (Watts, 1983; Watts, 1986). Como era de esperarse, la importación de productos básicos en Nigeria aumentó mas de 40% entre 1974 a 1980 lo que hizo que los precios de los productos locales aumentaran debido a los bajos costos de los productos importados y así aumentaron los déficits alimentarios (Watts, 1983; Watts, 1986). La economía de la población autóctona se vio embebida en un nuevo sistema económico con una dinámica más amplia (global) teniendo acceso a nuevos productos. Este nuevo sistema económico reemplazó tanto a personas como productos locales lo que resultó en la dependencia hacia los nuevos productos y la pérdida de su autonomía económica. Según Clarke (1977) citado por Watts (1983),

mantener un mercado de productos específicos reemplaza la diversidad local, lo que conlleva a que cualquier situación climática-ambiental adversa suponga un riesgo a la economía local.

Las comunidades rurales, antes de la influencia externa y el colonialismo, poseían la flexibilidad adaptativa y capacidad de ajuste frente a las sequías y la disponibilidad de alimentos (Watts, 1983; Kenneth, 1985; Watts, 1986). Esta resiliencia se basaba en tres ideales: la seguridad alimentaria primero, norma de reciprocidad y la economía moral (Scott, 1976 citado por Watts, 1983). En este sentido, las comunidades rurales optaban por practicar la siembra tradicional y de aquello que consumían en lugar de aquello que podían comercializar. Estas prácticas les generaban una estabilidad sistemática (Watts, 1983). La llegada de productos y mercados internacionales no solo cambió los ciclos en la siembra, además desestabilizó el sistema de gobernanza de la tierra de las comunidades rurales, las técnicas tradicionales fueron desplazadas y la siembra para exportación se volvió prioridad en lugar de la siembra para consumo (Watts, 1983; Watts, 1986). En este sentido, las tierras fueron sobre-cultivadas para cubrir la demanda de exportación, los granos que eran guardados para hacer frente a las constantes sequías y la escasez de alimentos fueron vendidos para cubrir la demanda (Watts, 1983). La tierra, ya de por sí frágil debido a las condiciones climáticas recurrentes, se volvió menos fértil y sin la capacidad de cubrir la demanda tanto internacional como local empeorando el proceso de desertificación.

2.3 Consecuencias e impactos

Como se ha visto anteriormente, las causas de la desertificación son diversas y muchas veces se requiere de un cambio mínimo para ocasionar graves impactos. En los párrafos subsiguientes se retoman las causas de la desertificación y se mencionan sus consecuencias tanto ambientales como humanitarias.

2.3.1 Reducción de cuencas hidrológicas y enfermedades

Las sequías recurrentes agravan el proceso de desertificación afectando la producción proveniente de la agricultura de secano. Además, la disminución en la productividad del

suelo aumenta la posibilidad de conflictos debido a las migraciones y la competencia por los recursos entre los pueblos. Tal es el caso de la desecación del lago Chad el cual, en 1963, irrigaba Níger, Nigeria, Camerún y Chad. Para el 2006 se había perdido el 95% de su superficie irrigando únicamente Camerún y Chad lo cual ocasionó conflictos limítrofes y de migración (Shnite y Nin, 2015). Otro ejemplo es Darfur en Sudán y Mali, países donde actualmente los conflictos se ven intensificados por la falta de agua (UNCCD, 2014). Las sequías y las malas prácticas disminuyen la capacidad de carga de los pozos de agua que son utilizados con fines domésticos, industriales y agrícolas (Nicholson, 2005; UNCCD, 2014). Debido a la sobreexplotación de los mantos acuíferos, el agua cada vez se encuentra a mayor profundidad lo que ocasiona el encarecimiento del recurso debido a la necesidad de bombear a mayor profundidad (Bates, *et al.*, 2008). Esta problemática puede observarse en países como Burkina Faso, Mali y Níger, donde la falta de recursos tecnológicos y de inversiones hacen complicado el panorama para sus habitantes (Bates, *et al.*, 2008; Ziegler 2003 citado por Shnite y Nin, 2015).

Las alteraciones en el ciclo hídrico, de acuerdo con Bates *et al.* (2008), podría afectar de igual manera el fenómeno de migración de las aves que provienen de regiones de Europa y de la región paleoártica. Las aves utilizan diversos sitios y cuencas hidrológicas del sur de Sahel como puntos de desplazamiento y descanso en su ruta migratoria hacia el norte. La falta de alimento y refugio ocasionaría cambios drásticos en su desplazamiento, competencia por recursos y reducción de poblaciones. Estudios han descrito cambios en las migraciones de las aves que se han visto alteradas por el régimen pluviométrico de las regiones donde habitan y hacia donde migran. Tal es el caso de las especies de aves que migran desde el Sahel hacia la región ibérica y Europa, donde las fechas de llegada han variado en los últimos años. Los retardos en la llegada de estas aves han coincidido con el régimen de lluvias y sequías severas en el subsahara. Esto implica la disminución de refugios y alimento lo que limita al fenómeno de migración, por lo que muchas aves mueren en el trayecto y aún antes de realizarlo (Gordo, 2015).

El régimen pluviométrico igualmente afecta a las poblaciones sahelianas. De acuerdo con Remy y colaboradores (1982), el régimen de lluvias es la causa principal de la patología infecciosa y parasitaria del Sahel. Aquí, la sequía y el polvo recurrentes puede causar irritación de los ojos agravando las afecciones oculares como la conjuntivitis, señalada como enfermedad epidémica asociada. Otras enfermedades asociadas son las nasofaríngeas y se han descrito brotes epidemiológicos importantes de meningitis cerebroespinal, sarampión y lepra. La escasez de agua hace que la higiene de las poblaciones no sea la adecuada ocasionando brotes de parásitos como los piojos que son causantes de tifus. Es importante mencionar que la mayor parte de las afecciones son causadas mayormente durante la época mas seca del año y se agravan conforme aumenta la aridez (Remy, *et al.* 1982; Bates, *et al.* 2008). Por otro lado, el agua estancada por largo tiempo puede acumular minerales, lo que ocasiona enfermedades relacionadas a la hipercontractibilidad de la vesícula. De la misma manera, el agua puede estar contaminada con desechos fecales y las malas prácticas conducen a enfermedades como la gastroenteritis, salmonela, tifoidea, disentería entre otras. Pierre (2005), menciona enfermedades parasitarias originadas en los cursos de agua como el gusano de guinea (*Dracúnculus medinensis*). Existen enfermedades que se han ido desplazando de manera conjunta a la degradación del suelo y el cambio climático en territorios del subsahara. Tal es el caso de la meningitis meningocócica epidémica, que se ha extendido hacia África occidental (Bates, *et al.* 2008). En este mismo contexto, la OMS (2019) señala al paludismo como un problema de salud pública causado por el cambio climático. De continuar con la tendencia de cambios de temperatura y precipitación, los moscos hembras, vectores de la enfermedad de la malaria, podrían desplazarse hacia sitios donde antes no existía la enfermedad o/y desaparecer de otros debido a los cambios ambientales. Esta misma situación podría presentarse en insectos como las langostas y polillas, quienes tras el aumento de temperatura han sobrepasando las barreras climáticas que antes impedían su desplazamiento. Tal es el caso de la polilla *Lymantria dispar*, que está adaptada a climas cálidos, alcanzando en los últimos años mayores latitudes debido al cambio climático. Esta polilla es considerada una plaga ya que tiende a defoliar árboles de hojas anchas y coníferas, causando graves daños (FAO, 2009).

2.3.2 Sociedad, economía, hambrunas y migraciones

Como se vio anteriormente, la eliminación de políticas y prácticas sociales y económicas tradicionales por la colonización, el mercado internacional, los constantes cambios en los regímenes de lluvia y su intensidad, las sequías prolongadas entre otros factores han agravado el proceso de desertificación. Sus efectos se observan en la pérdida del suelo fértil por la erosión, los cuales son arrastrados en época de lluvias. De acuerdo con IEEE (2020), el proceso continuo de lluvias y sequías hacen que la fertilidad del suelo se vaya perdiendo. Este ciclo impacta de manera importante la capacidad de la tierra para sostener prácticas agrícolas y pastorales y, por tanto, hace difícil el mantenimiento de una actividad económica. Estas situaciones han causado la disminución en la producción de recursos alimentarios básicos como son los cereales (Shmite y Nin, 2015) ocasionando desnutrición, hambruna, inseguridad alimentaria y migraciones. Nso (2007) menciona que los eventos migratorios pueden ser forzados a causa de los embates climáticos y la falta de recursos para la subsistencia de los pueblos. En el Sahel, la pérdida de cultivos se refleja en el número de fallecimientos humanos más que en pérdidas financieras ya que la presencia de seguros es escasa y no suelen ser adquiridos (Bates *et al.* 2008).

Puede observarse que las hambrunas, muchas veces han sido ocasionadas por la combinación de diversos factores ambientales y humanos dando resultado a miles de muertes y desplazados. Según Gómez de Mercado (2018), las circunstancias ocurridas en Etiopía dejaron cerca de seis millones de personas afectadas por la hambruna. En cambio, otras crisis alimentarias se han dado por la combinación de los factores ambientales y la mala gestión de los recursos. En este sentido, Watts (1983) insiste que una de las causas de estos acontecimientos es una mala adaptación económica estructuralmente hablando. Tal es el caso de la ocurrida en Sudán en 1984 y 1988, donde tras perder las cosechas, los habitantes comenzaron a cazar o recolectar vegetales y frutos silvestres. En ese momento, los habitantes contaban con el alcance económico para la adquisición de cereales como mijo y sorgo, pero los productos estaban escasos. Tras el paso del tiempo, hubo reabastecimiento de cereales a precios exorbitantes, pero los habitantes ya habían perdido sus ahorros y se volcaron hacia la

indigencia. Los granos del gobierno de Sudán fueron mal gestionados y la ayuda humanitaria llegó tarde. Más de un millón de personas fueron afectadas entre muertes y desplazados (Gómez de Mercado, 2018). Watts (1983) menciona que las crisis alimentarias son el reflejo de un mal guiado sistema socioeconómico, el cual es incapaz de hacer frente a las condiciones ambientales (que no son nuevas) pero que no han sido tomadas con responsabilidad por los gobiernos en turno. Esto puede observarse al analizar que hay personas muriendo por falta de alimentos en esta parte del mundo, sin embargo, las personas que están muriendo son las personas que han trabajado la tierra y que deberían tener un sustento de ella (Watts, 1983).

2.3.3 Efecto albedo

De acuerdo con Norton *et al.* (1979) la pérdida de la cubierta vegetal causado por las malas técnicas de cultivo y el ganado extensivo provocan un aumento en el albedo superficial. El efecto albedo se define como el reflejo de la radiación solar en la superficie del planeta. Las superficies más claras tienen un mayor efecto de reflexión, tal es el caso de la nieve o desiertos. Mientras que las superficies más oscuras tienden a una menor reflexión o menor albedo, tal es el caso de las selvas. El aumento del albedo produce pérdida de la humedad superficial, lo que causa una disminución en el efecto de convección, el cual es necesario para generar lluvia (Norton *et al.*, 1979).

En estudios realizados para determinar la relación entre las sequías y el efecto albedo, Norton *et al.* (1979) encontraron un ciclo de albedo durante la estación lluviosa y de sequía ocurridas en el Sahel entre 1967 y 1974. Esta situación hace pensar que los cambios en la cubierta vegetal tienen relación con el aumento o disminución del efecto, a mayor pérdida vegetal resulta mayor albedo (Courel *et al.*, 1984). Por ejemplo, en 1972, el cambio de estación mostró un incremento de reflectancia al sur de Senegal y en 1973 el cambio de albedo sucedió en el centro de Sahel y se incrementó un 25%. En el Sahel central, durante los años de precipitación normal la reflectancia estacional fue de un 80%, mientras que para los años de sequía fue inferior al 50% (Norton *et al.* 1979). Se cree que el albedo superficial y la humedad del suelo son factores que afectan la radiación en la superficie, ejercen influencia en el flujo de calor y se

relacionan con los cambios en la cubierta vegetal. En este sentido, estos cambios influyen en el proceso de retroalimentación ocasionando una disminución en las precipitaciones sahelianas. De manera que la pérdida de la cubierta herbácea ocasiona una disminución de la humedad del suelo, lo que provoca la evaporación del agua superficial, lo que resulta en un aumento de la temperatura del aire del suelo y su superficie, esto reduce el balance de radiación superficial y como resultado se produce un desequilibrio en el balance de radiación del sistema superficie- atmosfera local ocasionando sequías (Courel *et al.*, 1984).

2.4 Conclusión

La importancia de los gases en la atmosfera como el CO₂ es mantener cierta radiación proveniente del sol dentro del planeta en forma de luz y calor. Este efecto nos brinda una temperatura adecuada para la subsistencia de los seres vivos en un efecto invernadero natural. Las actividades antrópicas, consideradas como las principales problemáticas, han causado el desequilibrio en la cantidad de GEI en la atmosfera y de la reflectancia de la luz solar. El aumento de emisión de CO₂ a través de la quema de combustibles fósiles, el aumento de la reflectancia de luz causado por la deforestación, entre otros, ha ocasionado cambios importantes en la temperatura del planeta. Este cambio se debe a que la radiación solar puede entrar a través de la atmósfera, pero el aumento de gases en ella hace que la disipación o salida al espacio sea cada vez más baja provocando un calentamiento global. En este sentido, es bien sabido que cada cambio o alteración, por mínima que sea, puede generar un efecto cadena donde cada cambio conducirá a mas cambios alterando las condiciones del planeta. Como ejemplo, el aumento poblacional y la mala gestión de los recursos causa un aumento en la deforestación, a menos vegetación hay disminución en la absorción de CO₂ proveniente de la quema de combustibles fósiles, lo que casusa aumento de la temperatura por los GEI, provocando derretimiento de los glaciares en los polos, mezcla de mayor cantidad de agua dulce en el mar, debilitamiento de la termohalina, desaceleración de la corriente del Atlántico Norte, tormentas y sequías más severas, recursos más limitados, desequilibrio de la economía mundial, conflictos armados, miles de muertes y la lista podría seguir.

Es importante mencionar que son las grandes porciones de agua quienes absorben más del 90% del calor provenientes del GEI. De acuerdo con la investigación de Cheng, *et al.*, (2020) los océanos están registrando un aumento de temperatura, sin embargo, el océano Atlántico y el Austral muestran un aumento aun mayor en comparación con los demás océanos coincidiendo con los resultados de Lapointe, *et al.*, (2020). Estos últimos han encontrado que las oscilaciones en el Atlántico Norte influyen en la circulación atmosférica provocando efectos tanto en la temperatura del aire como en la severidad de las tormentas invernales. Es de esperarse que estas variaciones tanto en temperatura, presión, velocidad de los vientos afecten de manera directa el clima del planeta y con ello, graves consecuencias en aspectos ecológicos, políticos, económicos y sociales que ya se han mencionado y se conocen.

Por otro lado, las variaciones climáticas guían el desplazamiento de la fauna a través de países y continentes. Es de esperarse que el cambio climático altere los fenómenos de migración de diversas especies trayendo impactos importantes en el ámbito ecológico pudiendo alterar la dispersión de semillas y polinización de plantas. Además, el traspaso de barreras climáticas de insectos como las langostas podrían causar pérdidas de mayores extensiones de tierras cultivadas lo que ocasionaría impactos económicos y de salud importantes. Como puede observarse, cada cambio ocurrido en el medio tendrá repercusiones en la integridad de los ecosistemas, en la humanidad y en sus modos de vida. Es de esperar que las comunidades vulnerables sean las primeras afectadas con estos cambios y posiblemente el resto de las naciones sean las próximas. Conocemos que estamos haciendo mal y sus impactos, entonces ¿que estamos haciendo al respecto?

CAPÍTULO 3. Estudios de caso en el Sahel

Desde hace más de 50 años, la iniciativa pública, privada y científica de diversos países han enfocado sus esfuerzos en disminuir los efectos del proceso de desertificación en la franja saheliana (Laveissière, 1976; Grouzis, *et al.*, 1989; De Graaff y Stroosnijder, 1994; Bouri y Dhia, 2010; Conedera, *et al.*, 2010; Sacande, *et al.*, 2015; Adamou, *et al.*, 2021). El desafío de gobiernos locales e internacionales, ONG's, científicos y de la población radica en la búsqueda de soluciones que congreguen aspectos

medioambientales, socioeconómicos, geopolíticos y de manera primordial, que dichas acciones puedan estar al alcance de la población local. Estos esfuerzos se encaminan hacia la restauración de las tierras degradadas, la recuperación de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo y mejorar la economía, sustento, salud y educación para generar una mejor calidad de vida de las poblaciones que ahí se encuentran.

El proceso de restauración de las tierras conlleva un largo periodo de tiempo y puede darse de forma natural o de manera activa. De acuerdo con Vargas (2011), la restauración natural, pasiva o espontánea sucede cuando las funciones ecosistémicas de un medio perturbado se recuperan de manera autónoma. Esta recuperación puede lograrse ya que no existen o son eliminadas las barreras que impiden la regeneración. Vargas y Mora (2008) y Vargas (2011) mencionan que una vez superadas las barreras de dispersión, establecimiento y persistencia de las plantas, el ecosistema puede restaurarse naturalmente. La restauración activa o también llamada asistida o dirigida se aplica cuando el ecosistema se encuentra muy degradado o ha perdido sus funciones. En este sentido, el mecanismo autónomo de regeneración ya no es capaz de reestablecer total o parcialmente sus funciones por lo que es necesaria la intervención humana. De este modo se asiste al sistema para superar las barreras que impiden su regeneración y se garantiza el proceso de recuperación.

De acuerdo con SER (2004), la restauración ecológica se define como el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido. En este sentido, la restauración busca encaminar la recuperación de las funciones ecosistémicas que se encontraban presentes antes de la perturbación. Con ello se pretende brindar una perspectiva a futuro considerando la situación ambiental, social, económica, política y ética. Es importante conocer los diferentes términos utilizados comúnmente en el proceso de restauración. SER (2016) define la recuperación como el proceso mediante el cual un ecosistema vuelve a tener la composición, estructura y funcionalidad en los niveles identificados para el ecosistema de referencia. La rehabilitación es definida por SER (2016) como las acciones directas o indirectas que apuntan a restituir un nivel de funcionalidad del ecosistema donde se pretende realizar un aprovisionamiento renovado y continuo de bienes y servicios eco-sistémicos y no

una restauración ecológica. Reparación ambiental es cualquier actividad de recuperación que mejore la funcionalidad del ecosistema, los servicios eco-sistémicos o la biodiversidad.

A nivel internacional se han establecido los lineamientos para llevar a cabo los procesos de restauración más efectivos (SER, 2004; SER, 2016). El éxito del cumplimiento de los objetivos de recuperación de tierras degradadas y detener el proceso de desertificación en el Sahel dependen de distintos factores. Entre estos se enumeran la participación activa de la población, de organismos privados y gubernamentales, procesos de planificación, toma de decisiones, seguimiento de prácticas y procesos, organización integral, balance de costos y beneficios, aplicación del conocimiento adquirido y reconocimiento del área a restaurar (Grouzis, *et al.*, 1989; Vlaar, 1992; De Graaff y Stroosnijder, 1994; Enriquez-Sarano, 2000; SER, 2004; Vargas, 2011; Berrahmouni, *et al.*, 2015; Sacande, *et al.*, 2015; Berrahmouni, *et al.*, 2017; Adamou, *et al.*, 2021).

Como fue mencionado en párrafos anteriores, el avance de las dunas, la dificultad en la captación y almacenamiento de agua, así como la pérdida de la cubierta orgánica son problemáticas que agravan el proceso de desertificación en la región saheliana. A continuación, se describe dos estudios de casos basados en técnicas de barreras mecánicas y biológicas utilizadas en Níger y Mauritania. Se describe y analiza cómo estas prácticas han logrado detener el avance de las dunas y han permitido el establecimiento de especies vegetales. Además, se describen dos estudios de caso en dos regiones de Burkina Faso (Oudalan y Pougyango) donde ha sido aplicada la técnica de zaï y su combinación con otras técnicas como la de medias lunas y el arado Delfino; las cuales se describen, en concepto y funcionamiento, en los siguientes párrafos. Estas prácticas han sido exitosas para la captación de agua, así como para la generación de suelo orgánico y el establecimiento vegetativo en distintas regiones del país. En general, el éxito de estas técnicas radica en que se encuentran basadas en prácticas tradicionales que han sido retomadas y mejoradas, o en el caso del arado Delfino, en que han sido creadas y diseñadas para las condiciones ambientales del Sahel. En este mismo sentido, las técnicas aplicadas han mostrado ser adecuadas para iniciar un proceso de restauración ecológica y mejorar la calidad de vida de los

pobladores. Las técnicas se encuentran al alcance de los pobladores y promueven su participación e integración. En el cuadro 3.1 se hacen algunas referencias de los estudios de caso.

Cuadro 3. 1 Técnicas tradicionales aplicadas en la región del Sahel, estudios de caso.

TÉCNICA	Barreras mecánicas y biológicas		Zai y su combinación con otras prácticas	
	Níger	Mauritania	Burkina Faso región Pougnyango	Burkina Faso región Oudalan
PROBLEMÁTICA	Alteraciones en corriente hídricas, migraciones, explotación de recursos naturales, expansión de tierras para el pastoreo y agricultura, removilización de dunas, sedimentación de tierras agrícolas, erosión eólica, disminución en productividad de tierras, degradación de ecosistemas, desertificación.	Invasión de los caminos por las dunas móviles. Sedimentación y erosión causada por el viento y el movimiento de las dunas, pérdida de cultivos.	Dificultad de intrusión de agua en la tierra, disminución de suelos para cultivar, sobreexplotación, degradación de la tierra, aumento de suelos desnudos y ferruginosos.	Compactación del suelo, sobreexplotación de la tierra.
CAUSAS	Crecimiento demográfico	Conectar la capital con el resto del país Protección de viviendas y cultivos	Transporte de arenas por el viento, compactación del suelo, sequías constantes.	Tierras degradadas
DURACIÓN/ACTORES	3 años/ investigadores de las universidades de Maradi en Níger, de Llège y de Gembloux ambas en Bélgica (Manzo, <i>et al.</i> , 2009; Manzo, <i>et al.</i> , 2013)	5 años/FAO 14 años/FAO, gobierno de Mauritania y población en general. FAO, Región Valona de Bélgica y gobierno del país.	2 años. Investigadores del instituto de medio ambiente y recursos agrícolas de Ouagadougou, Burkina Faso	Inicio 1998, término desconocido/organización Reach Burkina Faso 6 años/asociación suiza Deserto Verde Burkiabé en asociación con la organización Reach Burkina Faso
OBJETIVOS	Barreras mecánicas: evaluar la influencia de las barreras mecánicas para disminuir la velocidad de los vientos y permitir el asentamiento de vegetación herbácea. Barreras biológicas: identificar las especies leñosas nativas o no nativas, más aptas para la fijación biológica de las dunas.	En un principio, estabilizar las dunas de manera mecánica y biológica con el fin de evitar su movimiento y su asentamiento sobre la carretera. Después, estabilizar las dunas de manera mecánica y biológica con el fin de evitar la invasión de viviendas y cultivos por las dunas. Años mas tarde, rehabilitar y extender las plantaciones realizadas cerca de la carretera	Evaluar el impacto de asociación de la técnica de medias lunas y zai en la productividad de suelos ferruginosos aplicando distintos sustratos.	Recuperación de tierras para fines agrosilvopastoriles Rehabilitación de tierras degradadas y evaluación a largo plazo de la eficacia de las técnicas aplicadas
ESTRATEGIAS	Barreras mecánicas: red de cercas realizadas con tallos colocadas en la duna móvil cara a los vientos dominantes. Barreras biológicas: establecimiento de viveros para producción de plantas utilizadas para el uso como barreras biológicas en las márgenes de las dunas móviles.	Barreras mecánicas: cercas tejidas con ramas. Barreras biológicas: con vegetación herbácea y leñosa autóctona Participación de las comunidades, ONG's, organismos internacionales, gobierno e instituciones educativas	Aplicación de la técnica de medias lunas para romper el suelo compacto y utilizar la técnica de zai para crear un sustrato orgánico que mejore las condiciones químicas del suelo.	Uso del arado Delfino para recuperar tierras degradadas Arado Delfino, participación de investigadores miembros de las asociaciones, así como habitantes locales. Selección de los sitios a recuperar, las especies a recolectar, siembra y recolección de excretas por parte de los habitantes. Compra de semillas de difícil

RESULTADOS	Barreras mecánicas y biológicas: cambios agroecológicos y micro climáticos que favorecen la revegetación y detienen el avance de las dunas.	Carreteras libres de arena. Protección de las tierras, creación de empleos temporales, participación de las mujeres.	La asociación de las técnicas conduce a un mejor crecimiento vegetal y productividad del suelo.	acceso. Recuperación de 5 mil hectáreas.
	Ambas barreras favorecen el establecimiento de pioneras y un desarrollo del estrato secundario de la vegetación.	Gestión para creación de empleos, rehabilitación de tierras degradadas, disminución en proceso de desertificación, creación de una institución para la protección ambiental.		La combinación de las técnicas permitió la recuperación de agua de lluvia, germinación y crecimiento de semillas sembradas, establecimiento de nuevas especies, sucesión vegetal.
	Las barreras son efectivas para detener el avance de las dunas favoreciendo la restauración del suelo degradado.			
ENSEÑANZAS ADQUIRIDAS	Se debe considerar el crecimiento rápido, resistencia al estrés hídrico y alta tasa de sobrevivencia de las plantas. La combinación de plantas con estas características aumenta el éxito de la fijación biológica.	Las barreras favorecen el establecimiento de pioneras y un desarrollo del estrato secundario de la vegetación. Las barreras son efectivas para detener el avance de las dunas favoreciendo la restauración del suelo degradado.	Es necesario romper el suelo compactado, crear el tamaño adecuado de las medias lunas y mejorar la calidad química del suelo.	La aplicación del arado Delfino es funcional para extensas áreas a recuperar en menor tiempo. En combinación con la técnica del zaï se generan sustrato necesario para la germinación, establecimiento y crecimiento de las plantas.
		La participación y el involucramiento de las partes interesadas es un factor importante para el desarrollo y perpetuidad del proyecto.		La participación local juega un papel importante para el desarrollo y duración del proyecto.

3.1 Estudio de caso: Barreras mecánicas y biológicas para detener el avance de las dunas en Nigeria y Mauritania

3.1.1 Problemática

Níger y Mauritania han sido gravemente afectados por las sequías y el avance de las dunas, ambos fenómenos suponen un riesgo a la seguridad alimentaria (Jensen y Hajej, 2001; Manzo, *et al.*, 2009; Berrahmouni, *et al.*, 2017; Adamou, *et al.*, 2021). Lo anterior debido al riesgo de erosión de las tierras y pérdida de cubierta fértil del suelo derivados del continuo arrastre de arena a causa del viento. El avance de las arenas disminuye la superficie de tierra cultivable, la destinada para el pastoreo y amenaza el suministro de agua (Manzo, *et al.*, 2013). Otra problemática que aqueja a Níger, a diferencia de Mauritania y como se mencionó en el capítulo de paisaje demográfico, el crecimiento poblacional en Níger es mayor que en el resto de los países sahelianos.

Esto se traduce en una fuerte presión sobre los recursos naturales en el país que, aunado a la reducción de precipitaciones en el Sahel, genera un bajo rendimiento de los cultivos y es un desafío para el bienestar de las poblaciones.

3.1.2 Enfoque y descripción de las técnicas utilizadas

Para combatir el avance de las dunas y permitir el asentamiento y crecimiento de vegetación se utilizaron barreras mecánicas y biológicas. Las barreras mecánicas consisten en colocar, en el límite de la duna móvil y a favor de los vientos, cercas tejidas con ramas secas comúnmente de *Leptadenia pyrotechnica* y *Prosopis juliflora* (Jensen y Hajej, 2001; Manzo, *et al.*, 2013). Estas barreras tienen la función de disminuir la velocidad de los vientos, el arrastre de las arenas y limitar el transporte de partículas (Manzo, *et al.*, 2013). Una vez que se han logrado estabilizar las dunas, se coloca la barrera biológica. Esta barrera consiste en plantar vegetación herbácea y leñosa, preferentemente autóctona, justo después de la cerca tejida formando bandas anchas de vegetación (Jensen y Hajej, 2001; Manzo, *et al.*, 2009). La función de estas barreras es generar una cubierta fértil para el establecimiento de pioneras y permitir el desarrollo vegetativo en el área.

En el caso de Níger, fueron llevados a cabo dos estudios de manera simultánea en un periodo de tres años (2004-2007). En los estudios participaron investigadores de las universidades de Maradi en Níger, de Liège y de Gembloux ambas en Bélgica (Manzo, *et al.*, 2009; Manzo, *et al.*, 2013). La problemática observada por Manzo y colaboradores (2013) radica en el crecimiento demográfico en Níger, el cual ha causado alteraciones en las corrientes hídricas, migraciones, demanda elevada de leña, expansión de tierras para el pastoreo entre otras necesidades. Manzo y colaboradores (2013) observaron que el aprovechamiento excesivo de los recursos naturales por parte de la población conllevaba la removilización de las dunas, lo que causa sedimentación de las tierras agrícolas, riesgos de erosión eólica y por tanto, disminución en la productividad de las tierras y degradación de los ecosistemas hacia un proceso de desertificación. Los estudios fueron llevados a cabo en la ciudad de Tchago en el departamento de Gouré, Níger. El objetivo de sus estudios fue, por una parte, evaluar la

influencia de las barreras mecánicas para disminuir la velocidad de los vientos y permitir el asentamiento de vegetación herbácea. Y por el otro, identificar las especies leñosas nativas o no nativas, más aptas para la fijación biológica de las dunas, para ello fueron establecidos viveros. Su estudio sobre fijación mecánica mostró que las barreras anti erosivas son una buena técnica para detener el avance de las dunas y favorecer el proceso de revegetación sucesional. La aplicación de la técnica generó cambios agroecológicos y micro climáticos positivos en el sitio. Estos cambios ambientales y vegetales observados muestran que tres años fueron adecuados para acelerar el proceso de restauración asistida en la zona (Manzo, *et al.*, 2013). En su estudio sobre barreras biológicas, Manzo, *et al.* (2009) consideran como aspectos principales de éxito para la fijación biológica tener en cuenta el crecimiento rápido, resistencia al estrés hídrico y una alta tasa de sobrevivencia de las plantas seleccionadas. Aun cuando los investigadores mencionan que deben considerarse plantas de interés para las comunidades, ya sea económico o cultural, dentro de los estudios no se menciona si existió participación de las comunidades en los mismos. Las actividades participativas suelen asegurar el éxito del proyecto tanto a nivel ambiental (recuperación de tierras degradadas) como a nivel social (aprovechamiento de los recursos para necesidades alimentarias, de construcción, vestimenta entre otras).

En el caso de Mauritania, fue llevado a cabo un proyecto que en su inicio se había considerado con una duración de tres años (1983-1986). En este proyecto, la FAO tenía por objetivo proteger una carretera denominada la Ruta de la Esperanza. Esta ruta surgió entre 1960 y 1970 después que Mauritania obtuviera su independencia y surgiera la necesidad de conectar la capital Nouakchott con el resto del país. El proyecto de la Ruta de la Esperanza surgió, mas bien, por intereses económicos que por intereses ambientales. Lo anterior, ya que además de crear un camino conector en el país, se tenía la problemática que las dunas atravesaban y se asentaban sobre la carretera lo que ocasionaba retrasos, accidentes y disminución en la calidad de la infraestructura carretera. El proyecto consistió en estabilizar las dunas de manera mecánica y biológica con el fin de evitar su movimiento y su asentamiento sobre la carretera. El proyecto se extendió dos años más y el objetivo de estabilización de las

dunas fue cumplido a costos elevados debido al riego constante de las plantas utilizadas para la fijación biológica. Años mas tarde, las poblaciones que fueron testigos del proyecto y de los resultados obtenidos, solicitaron la aplicación de dichas técnicas para proteger sus localidades de la sedimentación y erosión que causa el viento y el movimiento de las dunas. Los lugareños mostraron que las técnicas podían funcionar sin el uso de riego constante que elevaba los costos. Es por ello que la FAO inició un proyecto piloto para la aplicación de las técnicas de fijación mecánica y biológica en las localidades interesadas bajo las condiciones de siembra directa sin riego. El proyecto estuvo supervisado por el estado por solicitud de la FAO, comenzando así un programa participativo basado en relaciones contractuales entre el proyecto y los habitantes. Entre 1993 y 1997 se estima que los logros alcanzados fueron la protección de 226 sitios, colocación de mil kilómetros de barreras mecánicas, fueron producidas cerca de 1.2 millones de plantas mediante la participación de 226 recolectores mayoritariamente mujeres, cerca de un millón de árboles plantados en 2,100 hectáreas. Como se puede observar, la iniciativa y participación de los locales fueron la base principal en el éxito y durabilidad de los proyectos. Los habitantes lograron rehabilitar gran cantidad de hectáreas de tierra degradada gracias al apoyo del gobierno de Mauritania y la FAO y de esta manera también fue posible mejorar los ingresos económicos y por tanto de la calidad de vida de la población local. En el año 1999, el gobierno de Mauritania, la FAO y la Región Valona de Bélgica iniciaron un proyecto para rehabilitar y extender las plantaciones realizadas cerca de la Ruta de la Esperanza años atrás. En este proyecto fueron utilizadas, de igual manera, las técnicas de fijación mecánica y biológica de las dunas. En este proyecto también participaron localidades cercanas quienes crearon y gestionaron viveros dando prioridad a especies autóctonas. De estas localidades también fueron contratados guardias para la protección de las áreas rehabilitadas y quienes alejaban el ganado y evitaban las actividades ilícitas de recolección de madera y forraje. Para este proyecto se estima que cerca de 400 mil plantas fueron sembradas en viveros y 857 hectáreas de tierra fueron tratadas con las técnicas logrando una regeneración natural en las áreas tratadas y sus alrededores. La calidad de vida de los locales mejoró debido a que, gracias a los trabajos realizados, sus viviendas, cultivos y caminos se vieron protegidos del avance de las dunas y de la erosión principalmente. El

proyecto tuvo gran impacto en la disminución del proceso de desertificación, aumentó los ingresos de las comunidades cercanas, fueron mejoradas las técnicas de fijación, de sembrado y trasplante de plántulas. En este mismo sentido, fue mejorada la gestión de plantación, protección y de personal creando el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible que participó en coordinación con la Asociación para la Promoción de la Educación y la Capacitación en el Extranjero en Bélgica en la capacitación de 84 técnicos forestales en 2010 (Jensen y Hajej, 2001; Berrahmouni, *et al.*, 2017).

3.1.3 Enseñanzas adquiridas

Con las iniciativas y proyectos propuestos anteriormente donde son aplicadas barreras biológicas y mecánicas para la lucha contra el avance de la arena, se visualiza que:

Las barreras mecánicas para la lucha contra la erosión y el avance de las dunas contribuyen a la mejora de las condiciones agroecológicas, mejoran las condiciones del suelo que ha sido degradado y por tanto favorecen la restauración ecológica. Además; se prueba que estas barreras son efectivas para minimizar el avance de las arenas a través de la estabilización. Sin embargo; las barreras mecánicas deben ser colocadas de la manera adecuada y utilizando el material correcto (véase Jensen y Hajej, 2001; Manzo, *et al.*, 2009; Manzo, *et al.*, 2013; Berrahmouni, *et al.*, 2017).

Para el éxito de una barrera de fijación biológica de dunas móviles, la vegetación utilizada debe ser de rápido crecimiento, resistente al estrés hídrico y presentar una alta tasa de sobrevivencia. Debido a que una sola especie no presenta estas características, es mejor combinar la plantación entre aquellas que presentan un crecimiento rápido, mayor longevidad y considerar los intereses de uso en la región (véase Manzo, *et al.*, 2009). La creación de viveros es importante para suministrar, durante el tiempo necesario, las plantas que serán destinadas a la estabilización de las dunas (véase Jensen y Hajej, 2001; Manzo, *et al.*, 2009; Berrahmouni, *et al.*, 2017).

La participación, así como el involucramiento de las partes interesadas es un factor importante para el desarrollo y perpetuidad de las iniciativas. De esta manera se

cumplen el objetivo de restauración y se contribuye a la mejora de la calidad de vida de las poblaciones afectadas por el desplazamiento de la arena y la degradación del suelo. Es de suma importancia conocer los aspectos socioeconómicos para desarrollar un trabajo eficaz, de bajo costo y acorde con el medio social, ambiental y económico de la región.

3.2 Estudio de caso: Técnicas de zaï más otras prácticas para favorecer la recuperación de agua y rehabilitación del suelo en dos regiones de Burkina Faso

3.2.1 Problemática

Burkina Faso ha sufrido sequías extremas en los últimos cuarenta años, lo que ha provocado la compactación del suelo y ha favorecido la formación de suelos ferruginosos. Estos suelos, como se ha visto en la descripción del paisaje físico en el capítulo 1, son mesetas planas de areniscas que presentan costras de sal de hierro (Pierre, 2005) y que complican el establecimiento y crecimiento vegetal. La región padece de un clima extremo e impredecible, presenta un crecimiento demográfico importante, es decir; la tasa de crecimiento demográfico ha aumentado en un 2.8% entre 1961 a 2019 (Banco Mundial, 2021) y con ello, la explotación de los recursos naturales ha ido en aumento. Estos factores han propiciado que el equilibrio entre la explotación y la regeneración de los recursos naturales se pierda. En este sentido, la necesidad de cultivos para la alimentación humana ha ido en aumento, sin embargo, la falta de tierras fértiles y la dificultad del trabajo de la tierra debido a los suelos ferruginosos, la compactación de la tierra, pocas precipitaciones, temperaturas elevadas y falta de técnicas para la captación de agua pluvial han generado hambruna, pobreza extrema, inseguridad alimentaria y migración (Dapola, 2008; Conedera, *et al.*, 2010; Sacande *et al.*, 2020). Aproximadamente el 24% de las tierras cultivables se encontraban degradadas desde hace veinte años. Debido a lo anterior, se considera que la degradación del suelo ocasionada por la explotación de los recursos naturales de una población creciente, así como complicaciones en la captación de agua de lluvia debido a la dificultad de labrar suelos compactados es uno de los principales problemas en esta región.

3.2.2 Enfoque y descripción de las técnicas utilizadas

Diversos proyectos se han llevado a cabo encaminados a la recuperación de tierras degradadas, la captación de agua de lluvia y con ello al mejoramiento de la fertilidad del suelo en Burkina Faso (Dapola, 2008; Conedera, *et al.*, 2010; Sacande *et al.*, 2020). Para lograr los objetivos antes mencionados, han sido utilizadas las técnicas de zaï y su combinación con otras técnicas como medias lunas y el arado Delfino. La técnica de medias lunas al igual que la técnica de zaï son prácticas tradicionales a baja escala que han sido retomadas y mejoradas para su aplicación en la región. Las medias lunas son un microsistema que consiste en la excavación manual de agujeros perpendiculares a la pendiente y en forma de semicírculo, llegan a tener una profundidad entre 5 a 20 centímetros (Vlaar, 1992; Dapola, 2008). La tierra excavada es compactada alrededor del semicírculo formando una luna creciente que puede alcanzar 30 cm de alto. Su función es evitar el escurrimiento superficial del agua en época de lluvias favoreciendo su acumulación y la filtración en el suelo (Roose, 1989; Sacande *et al.*, 2020). La técnica de zaï consiste en que, una vez realizados los agujeros, se coloca en su interior estiércol y composta, con el fin de aprovisionar de materia orgánica el suelo. Una vez pasada la primera lluvia, se colocan las semillas, de esta manera se ayuda a mejorar la filtración del agua y de la materia orgánica (Roose, 1989; Vlaar, 1992; Roose, *et al.*, 1994). El arado Delfino se trata de maquinaria que ha sido diseñada y desarrollada especialmente para las condiciones edáficas del Sahel y es utilizada para proyectos a gran escala. Su trabajo consiste en realizar medias lunas más profundas, de entre 50 a 80 cm (Sacande, *et al.*, 2020) capaces de capturar y mantener mil litros de agua aproximadamente (Conedera, *et al.*, 2010). El propósito de su uso es abarcar mayor área, favorecer mayor acumulación de agua de lluvia, y con ello mejorar la fertilidad del suelo y las cosechas.

En el caso de la región de Pougyango, Zougmore y colaboradores (2020) llevaron a cabo una investigación durante los años 1998 a 1999. En dicho estudio participaron investigadores del Instituto de Medio Ambiente y Recursos Agrícolas de Ouagadougou en Burkina Faso. La problemática que los investigadores observaron fue un aumento importante de los suelos desnudos y ferruginosos en la región de Pougyango

principalmente por el transporte de partículas por el viento. Los investigadores hallaron que los suelos ferruginosos de la región suelen incrustarse en una película fina de arena la cual se compacta y dificulta la absorción del agua a la tierra. Esta situación agrava el problema en la disponibilidad del suelo para el cultivo lo que genera mayor presión y degradación de la tierra. El estudio tuvo por objetivo determinar el impacto de la asociación de las técnicas de medias lunas y de zaï con la aplicación de distintos sustratos orgánicos y minerales y evaluaron su respuesta en la productividad del suelo ferruginoso y crecimiento de sorgo. Como resultado de su estudio, Zougmore y colaboradores (2020) enfatizan que el simple hecho de brindar suficiente agua al suelo no favorece la producción de sorgo. Es necesario romper la superficie compactada de los suelos ferruginosos, crear el tamaño adecuado de las medias lunas mejorara la calidad química del suelo que se encuentra bajo ella para mejorar la productividad vegetal. El estudio mostró que la materia orgánica como el estiércol y el compost favorecen el crecimiento del sorgo en condiciones ambientales difíciles. Mantener el equilibrio fisicoquímico del suelo es importante para promover el enraizamiento de manera rápida. Zougmore y colaboradores (2020) concluyeron que los fertilizantes juegan un papel importante para el funcionamiento en conjunto de las técnicas de zaï y medias lunas. Ambas técnicas resultaron ser efectivas para romper el suelo compactado y restaurar su productividad.

Por otro lado, en el caso de la región de Oudalan, se han llevado a cabo diversos proyectos de recuperación de tierras degradadas mediante el arado Delfino. Uno de ellos fue realizado por la organización Reach Burkina Faso en el año 1998. Esta organización puso en marcha un programa de recuperación de tierras degradadas mediante la aplicación del arado Delfino y con la cual se lograron recuperar cinco mil hectáreas de tierra con fines agrosilvopastoriles. En el año 2003, la asociación suiza Deserto Verde Burkiabé en colaboración con Reach Burkina Faso propuso un programa decenal para llevar a cabo la rehabilitación de tierras degradadas y evaluar a largo plazo la eficacia de las técnicas aplicadas. Para este proyecto participaron investigadores de dichas organizaciones y habitantes locales para dar seguimiento a los trabajos de recuperación de tierras mediante el arado Delfino en combinación con la

técnica de zaï durante seis años. La participación e inclusión de los locales fue promovida a través de la selección, en función de sus necesidades, de las tierras degradadas a recuperar, las especies a recolectar, así como de la siembra y recolección de excretas de cabras para ser usadas como abono y como fuente de germoplasma dentro de las medias lunas. Además, las semillas que fueron solicitadas por los lugareños y que eran de difícil acceso o complicadas de hallar fueron adquiridos en el Centro Nacional de Semillas Forestales de Ouagadougou (CNSF por sus siglas en francés). La combinación de las técnicas permitió la recuperación de agua de lluvia, el desarrollo de las semillas sembradas, el establecimiento de nuevas especies, así como el avance de la cobertura vegetal. Los beneficios de la aplicación de dichas técnicas también se vieron reflejados en el aprovechamiento de las plantas por parte de los habitantes a través del aumento de los recursos alimentarios y forrajeros, protección de sus viviendas y terrenos contra la erosión eólica e hídrica. Es importante señalar que el pastoreo libre es una actividad que se encuentra permitida permanentemente por los lugareños ya que forma parte de sus tradiciones. Y es una actividad que, de acuerdo con Conedera, *et al.* (2010), disminuye la acumulación de biomasa en los terrenos lo que disminuye el riesgo de incendios durante el periodo de secas.

3.2.3 Enseñanzas adquiridas

Con las iniciativas y proyectos desarrollados anteriormente sobre la aplicación de métodos tradicionales y de maquinaria para la captación de agua y restauración de tierras degradadas, se visualiza que:

Tanto las técnicas tradicionales basadas en la realización de las medias lunas manualmente como aquellas donde se utiliza maquinaria Delfino, cumplen con el propósito de recuperar las tierras degradadas y mejorar la productividad de la tierra. Se muestra que el arado Delfino es la maquinaria mas recomendable para la región saheliana debido a las características de esta y el trabajo que realiza (véase Conedera, *et al.*, 2010; Sacande, *et al.*, 2020). Sin embargo; requiere mantenimiento y combustible para su funcionamiento por lo que es complicado que comunidades de bajos recursos que no son apoyadas por alguna institución o iniciativa privada tengan acceso a ellas.

Entre las ventajas del uso de la maquinaria Delfino es que el trabajo de medias lunas y zaï puede hacerse en menos tiempo abarcando mayor superficie, además la capacidad de captación de agua es 1,000 veces mayor que en la labor manual. En este caso, se requiere mayor número de trabajadores hora para realizar las técnicas de zaï y medias lunas en una hectárea (véase Sacande, *et al.*, 2020)

La asociación de diferentes técnicas que permitan la captación de agua y el aprovisionamiento de material orgánico son las mejores combinaciones para cumplir con el objetivo de rehabilitación de suelos degradados. Estas técnicas propician un aumento significativo de la biomasa, de la diversidad de especies tanto florísticas como faunísticas, así como un mejoramiento de las características fisicoquímicas del suelo. Permiten la captación de agua de lluvia y su resguardo mejorando la infiltración de agua y nutrientes al suelo (véase Conedera, *et al.*, 2010; Zougmore *et al.*, 2020). La rehabilitación de la cubierta vegetal de las tierras degradadas es un elemento clave para el control y la lucha contra la desertificación.

El tamaño de las medias lunas, así como la cantidad y tipo de sustrato también juegan un papel importante tanto para la cantidad de agua que se desea captar como para el crecimiento de cereales como el sorgo. El aporte de semillas ya sea contenido en el estiércol o dispersadas manualmente también juegan un papel importante en el crecimiento vegetativo. El pastoreo sobre los terrenos tratados también beneficia el desarrollo de herbáceas y disminuye el riesgo de incendios en estación seca (véase Zougmore *et al.*, 2020). El desarrollo de estas técnicas favorece la formación de microhábitats lo que mejora la dispersión de semillas a través de animales y funcionan como lugares de refugio para la fauna (véase Conedera, *et al.*, 2010; Zougmore *et al.*, 2020).

El Estado, las ONG's y la participación de los habitantes siempre juegan un papel importante en el inicio, continuidad y la perpetuidad de los proyectos. La aplicación y mejoramiento de prácticas tradicionales captan el interés de las poblaciones además de reconocer la importancia de las prácticas culturales y tradicionales. Las técnicas aplicadas deben estar regidas por la extensión de terreno que se desea restaurar, las

características fisicoquímicas del mismo, tamaño de población que será beneficiada, así como características socioeconómicas de la región.

3.3 Conclusión

Haré una pequeña reflexión sobre ambos estudios de caso. Por un lado, en los estudios de caso sobre el avance de las dunas se muestran dos situaciones donde, en el primer caso, se lleva a cabo el estudio con el fin de determinar la mejor técnica y su funcionalidad para fijación de dunas. En este estudio no se considera la participación de los locales por lo que al concluir la investigación, se terminan los beneficios potenciales hacia el ambiente y hacia las poblaciones. En la segunda situación, sucede algo similar al primero, solo que los intereses eran ajenos a obtener un beneficio hacia las poblaciones y el ambiente. La iniciativa de los habitantes y su necesidad de mejorar su calidad de vida cambió el rumbo de la situación. Es importante destacar que el apoyo del gobierno y ONG fue decisivo para lograr cambiar la situación de los pobladores. A manera de reflexión, los proyectos ecológicos deben ser aplicables, con técnicas reproducibles y de fácil acceso a las poblaciones. Deben buscar alcanzar beneficios que contengan tanto aspectos ambientales, económicos y sociales. Deben buscar la gestión, inclusión y participación de las personas para que el éxito obtenido en los distintos aspectos sea duradero.

Por otro lado, retomar las prácticas tradicionales de siembra y recolección de agua favorecen la apropiación de estas prácticas tradicionales por parte de los habitantes. Además, el desarrollo de nuevas tecnologías adecuadas para los sitios, según su naturaleza y la combinación con las técnicas tradicionales, genera beneficios económicos, culturales y sociales. Pero ¿Qué pasa si se tiene los conocimientos, las técnicas y la maquinaria pero no hay lluvia? Siendo la lluvia el insumo principal para el funcionamiento de dichas técnicas, la falta o escasez de lluvia pone en riesgo a las comunidades que sobreviven de ella. Imaginando la situación en la que, durante la época húmeda, fue posible coleccionar suficiente agua hasta la próxima estación lluviosa. Pero debido al cambio climático, la siguiente estación húmeda tarda más de lo previsto. La falta de líquido vital haría que las comunidades tuvieran que desplazarse hacia sitios con mejores condiciones y establecerse ahí el tiempo necesario. Esta situación de

desplazamiento y migración no se observa tan complicada cuando se considera que el único factor desfavorable es la falta de lluvia, pero la realidad es distinta y las poblaciones tienen infinidad de obstáculos que dificultan y agravan su situación. Como se ha mencionado en capítulos anteriores, en la región existen conflictos armados, enfrentamientos por los recursos minerales y naturales, violencia de género, malas políticas públicas, malas prácticas agrícolas, epidemias y pandemia por mencionar algunas. Estas condiciones dificultan el acceso a los servicios más básicos e importantes para su sobrevivencia.

Debemos aprender de las enseñanzas adquiridas, de los proyectos con resultados favorables y aplicar las técnicas y los insumos adecuados a las características ambientales de la región para generar respuestas satisfactorias. Por ejemplo, cultivos como el arroz, el maní y el algodón son adecuados para las condiciones del Sahel. En este sentido, el cultivo de algodón ha generado fuentes de empleo, ha expandido el mercado al ser exportado, ha mejorado la economía local, ha introducido técnicas modernas entre otros. Sin embargo, también existe el panorama negativo relacionado con las actividades de cultivo y su exportación como la corrupción, falta de financiamiento, depredación por mencionar algunas (IEEE, 2017). Las prácticas tradicionales como las antes vistas pueden mejorar la sobrevivencia de las comunidades, pero se requiere un cambio profundo del panorama político ambiental, económico, social y de salud para realmente poder hablar de mejorar la calidad de vida de los habitantes del Sahel. ¿Cómo podríamos generar un cambio radical que congregue todos los aspectos?

CAPÍTULO 4. Actores internacionales

Una vez vistas las características biofísicas del Sahel, las causas y consecuencias de la desertificación, así como las prácticas para aminorar el proceso de degradación, ahora nos referiremos a los actores internacionales como instituciones de apoyo a la región. En este capítulo se aborda la participación de organismos internacionales gubernamentales y no gubernamentales, asociaciones civiles entre otros que tienen como propósito mejorar las condiciones de vida de los habitantes del subsahara. Se hablará sobre agencias, fondos e instituciones especializada de las Naciones Unidas

creadas para este fin. Se mencionarán los acontecimientos que originaron su creación y los propósitos para el cual fue creado, enfocándose a la situación de la franja saheliana. Se mencionará los donantes y la cantidad que aportan a cada programa de beneficio a la franja. En esta sección se espera que el lector comprenda de qué manera los programas o agencias se han creado y se han ido desarrollando conforme la problemática, el avance de la tecnología y establecimiento de los acuerdos mundiales.

4.1 Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola en el Sahel

Han existido diversas sequías en la región sahelina que derivaron en periodos de hambruna como se observa en la historia climática reciente descrita en el capítulo 2 sobre la desertificación en el Sahel. Hablando de las sequías finales de los años sesenta y que se extendieron a principios de los setentas, es importante señalar que durante esta década el mundo atravesó por grandes cambios y crisis. Entre ellas, América latina enfrenta una crisis agraria derivada, principalmente, por políticas de redistribución de tierras (Chonchol, 2003). A nivel mundial, en 1973 se presenta la crisis del petróleo, derivada de la guerra entre árabes e israelíes que causó el alza de los precios del hidrocarburo y con ello, de producción y transporte. Entre 1955 a 1975 ocurrió la guerra de Vietnam donde fue usado el agente naranja, herbicida que devastó selvas y cultivos en ese país. A estos factores se sumó la preferencia de la agricultura industrializada sobre la agricultura familiar causando desempleo y disminución de cosechas (Bartra, 1979; Chonchol, 2003). Incremento de la demanda de aceites, alimentos de origen animal y cereales a nivel mundial y decremento de las reservas alimentarias de los países. Estas situaciones condujeron a una reducción de la oferta de estos productos en el mercado internacional causando el desabasto y el alza de precios en el mundo. Aumento de impuestos para exportaciones, revueltas e inflación. Estas situaciones trajeron consigo un desbalance comercial, aumento de precios en alimentos, salarios insuficientes y convergieron en la crisis mundial de escases de alimentos, provocando malnutrición, hambruna y miles de muertes en las poblaciones de bajos recursos (Ramírez, *et al.* 1975; Malavé, 1982; Schejtman, 1988; Gómez-Oliver, 2008; Rubio, 2008; Funk, *et al.* 2011; ACNUR, 2016), principalmente en la región subsahariana (IFADa, s.f.).

En 1974, las Naciones Unidas realizaron la Conferencia Mundial de la Alimentación como respuesta a la crisis alimentaria (Watts, 1983). En esta conferencia se creó el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), como organismo especializado en proyectos de desarrollo agrícola principalmente para la producción de alimentos en los países en desarrollo (IFADa, s.f.). En África del Norte, el Fondo invierte o participa como colaborador en proyectos que ayuden a mitigar la escasez de agua y potenciar la producción agrícola (IFADb, s.f.). Tal es caso de Níger, país saheliano que presenta una tasa de pobreza casi del 50% de la población por lo que es considerado uno de los países más pobres del mundo y en 2015 se ubicó en el último lugar en el índice de desarrollo humano (IFADc, s.f.). De acuerdo con el portal de IFADc (s.f.) Níger presenta inestabilidad política, inseguridad alimentaria de manera recurrente, sequías, inundaciones y plagas, principalmente de langostas (*Schistocerca gregaria*). Aunque existe producción de uranio y petróleo, la agricultura se considera como una fuente importante de ingresos para los habitantes del Níger. Los pobladores siembran en sus granjas familiares cereales y verduras como agricultura de secano; y cebolla, sésamo y caupí con riego. El FIDA apoya las granjas familiares y a las familias en condiciones de escasos recursos para que puedan diversificar la producción agrícola, posproducción y comercialización para incrementar la resiliencia y sostenibilidad de los medios de vida (IFADc, s.f.). En el caso de la región de Diffa en Níger, el FIDA en el año 2018 aprobó un programa con una duración de seis años para contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional de manera sostenible. Así se contribuye al mejoramiento de las capacidades de resiliencia de los pobladores generando ingresos y adaptación al cambio climático. El costo total del programa se ha estimado en \$25.48 millones de dólares de los cuales el FIDA aporta USD \$12.5 millones, la agencia The Norwegian Agency for Development Cooperation participa como co-financidor internacional aportando USD \$6.76 millones y el aporte del gobierno de Níger es de USD \$2.47 millones (IFADd, s.f; FIDA, 2020). Mali es otro país de la franja saheliana que ha recibido financiamiento para programas y proyectos por el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola desde 1980 (FIDA, 2021). Mali no cuenta con litoral siendo la agricultura, agropastoreo y la pesca obtenida en los ríos Níger y Senegal su principal sustento. Según datos del Banco Mundial (2021), en 1994 la tasa de pobreza era de mas del 85% y para el 2009 se encontraba en mas del

50%. El FIDA (2021) prevé que para 2050, la producción agrícola se reduzca en un 17% en este país. Actualmente FIDA están llevando a cabo tres proyectos y ha concluido 12. Los propósitos de estos proyectos son diversos, por ejemplo: el aumento y diversificación de la producción agrícola para hacerla resiliente al cambio climático, asegurar el acceso a los servicios sociales básicos, promover la inclusión de los pequeños productores y de las microempresas rurales (FIDA, 2021). El costo del proyecto se estima en USD \$729.66 millones de los cuales USD \$325.78 millones son financiados por el FIDA y el resto por diversos actores como la iniciativa de eslabones perdidos del programa de seguridad alimentaria y agricultura global (GAFSP por sus siglas en inglés), FAO, la agencia francesa de desarrollo (AFD por sus siglas en francés), banco africano de desarrollo (BAD por sus siglas en francés) entre otros (FIDA, 2016).

4.2 Organización Meteorológica Mundial en el Sahel

En 1873 se realizó en Viena el primer Congreso Meteorológico Internacional donde se creó un Comité Meteorológico Permanente con el fin de redactar los reglamentos y estatutos para facilitar el intercambio internacional de información meteorológica (OMM, 2019). En 1879, fue convocado en Roma un congreso internacional donde fue sustituido el Comité Meteorológico Permanente con la Organización Meteorológica Internacional. La Organización Meteorológica Internacional contaba con el mismo fin que el comité a quien sustituía. Su directriz era promover la cooperación internacional, el fomento de la investigación, guiar las prácticas operativas y facilitar el intercambio y difusión de datos meteorológicos (OMM, 2019). Pero no fue hasta 1977 durante la Conferencia de las Naciones Unidas celebrada en Nairobi, Kenia, que se le dio interés al proceso de desertificación y donde por primera vez fue definida (Mariñas, 1977; Kenneth, 1985; Kribeche, 2014; Avilés, *et al.*, 2016). Durante la conferencia de las Naciones Unidas se concluyó que la desertificación era una problemática global y se adoptó un plan para combatirla. Desde este momento, la Organización Meteorológica Mundial, que sustituyó a la anterior en 1950, ha contribuido en los esfuerzos por controlar el avance de la desertificación (Kenneth, 1985). Tal es el caso de Burkina Faso donde, desde el año 2017, se está llevando a cabo un proyecto para fortalecer las

capacidades del país referente a la prestación de servicios del sistema de alerta temprana. El objetivo del proyecto es mejorar la operatividad del sistema dentro del país con el fin de producir y prestar servicios hidrológicos, meteorológicos y climáticos. Este sistema alertará por riesgos de inundaciones, sequías, agricultura y seguridad alimentaria (OMM, 2001; OMM, 2017; WMO, 2020). El proyecto se lleva a cabo a través de la evaluación de redes de observación, mejoramiento del análisis y bases de datos. Además de evaluar la capacidad de pronosticar tiempos severos, predicción subestacional en servicios agrometeorológicos, herramientas de predicción inmediata y vigilancia del clima y fortalecimiento institucional. El costo total del proyecto se estima en USD \$2,192,200 y el principal financiamiento proviene de sistema de alerta temprana de riesgos climáticos (CREWS por sus siglas en inglés). Como en el caso de Burkina Faso, el Comité Permanente Interestatal para la Lucha contra la Sequía en el Sahel (CILSS) vigila la seguridad alimentaria de 17 países sahelianos y de África occidental. Las acciones de vigilancia se realizan a través de la toma de datos satelitales y protocolos desarrollados para los países africanos (FAOb, 2020). Estos protocolos se desarrollan en cada campaña agrícola donde se realizan talleres regionales y se utilizan datos sobre el seguimiento meteorológico. En base a estas actividades pueden determinar la situación de la agricultura y la seguridad alimentaria en ese momento y en un mediano plazo (FAOb, 2020).

4.3 Naciones Unidas y la Lucha Contra la Desertificación en el Sahel

En 1992, catorce años después de la conferencia en Nairobi, fue celebrada en Río de Janeiro la Cumbre de la Tierra. Durante este evento, fue firmada por más de 178 países la Agenda 21, la cual se considera un instrumento para la aplicación a nivel local de los principios que rigen la declaración de la Conferencia sobre el Medio Ambiente (Busto y Chacón, 2009). Además; la problemática de la desertificación fue considerada en esta agenda como un asunto ambiental de importancia. Sin embargo; fue dos años más tarde, en 1994, cuando se reconoce en el Acta de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, que el proceso de desertificación es el principal problema de carácter ambiental y socioeconómico que aqueja de manera general a muchas regiones y países del mundo (Kribeche, 2014). Dos años más tarde entró en vigor la convención

de las Naciones Unidas para la lucha contra la Desertificación (UNCCD). Esta convención fue firmada por 191 países miembros y principalmente adoptada por los países subsaharianos debido a la severidad de las afectaciones en cuanto a superficie desertificada y la gravedad de la degradación (Kribeche, 2014). Esta convención es un acuerdo entre países en vías de desarrollo y países desarrollados con el objetivo de promover una respuesta global para contener/frenar el proceso de desertificación (GOB, s.f.). En este sentido, diversas iniciativas y organizaciones nacionales e internacionales se han pronunciado en apoyo para la puesta en marcha de la Gran Muralla Verde. Ésta es una iniciativa que fue puesta en marcha en 2007 por una alianza entre los países de África subsahariana con el fin de reforzar la resiliencia ecológica y socioeconómica de los países del Sahel y del Sahara. El objetivo previo de la Gran Muralla Verde era el de crear un cinturón de vegetación al sur del Sahel con una longitud de siete mil kilómetros y una anchura de 15 kilómetros (figura 4.1). Sin embargo; este objetivo ha cambiado en los últimos años y ahora se planea como una gestión integral de los ecosistemas a lo largo de la franja. La visión actual incorpora los diferentes sistemas de utilización de las tierras y de los sistemas de producción. La iniciativa comprende, a través de distintos proyectos, la gestión y la restauración durable de las zonas áridas, regeneración de la vegetación natural y medidas de retención y conservación del agua (UNCCD, 2020). En el 2010 fue creada la Agencia Panafricana de la Gran Muralla Verde con el propósito de coordinar la puesta en marcha de la iniciativa y apoyar la movilización de los recursos. Para llevar a cabo el proyecto de la Gran Muralla Verde, participan los 11 países de la franja subsahariana, gobiernos, sociedad civil, organizaciones internacionales, así como sectores públicos y privados entre los que destacan la Unión Africana, FAO, el Banco Mundial, la Unión Internacional para la conservación de la Naturaleza (UICN), Facilidades Globales Ambientales (GEF por sus siglas en inglés), Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD), la Unión Europea (UE), el Observatorio del Sahara y el Sahel (OSS), el Comité Permanente Interestatal para el control de la sequía en el Sahel (CILSS por sus siglas en inglés), APEFE, BirdLife International, real jardín botánico de Kew, Tree Aid y SOS Sahel. El costo total de la iniciativa se estima en USD \$2,3 millardos con un seguimiento de 5 a 10 años de acuerdo con los trabajos realizados

(UNCCD, 2020). Actualmente se llevan a cabo diversos proyectos a lo largo de la franja saheliana. SOS Sahel trabaja en un proyecto de mejoramiento de la producción agrosilvopastoril y de recuperación de tierras degradadas. Hasta el momento han sido restauradas 30 mil hectáreas y beneficiadas 350 mil personas. En Burkina Faso se lleva a cabo un proyecto de restauración del paisaje forestal y gestión durable de las tierras. En Mali se aplican trabajos de respuesta a riesgos de sequía con un financiamiento de USD \$50 millones a través de Green Climate Fund.

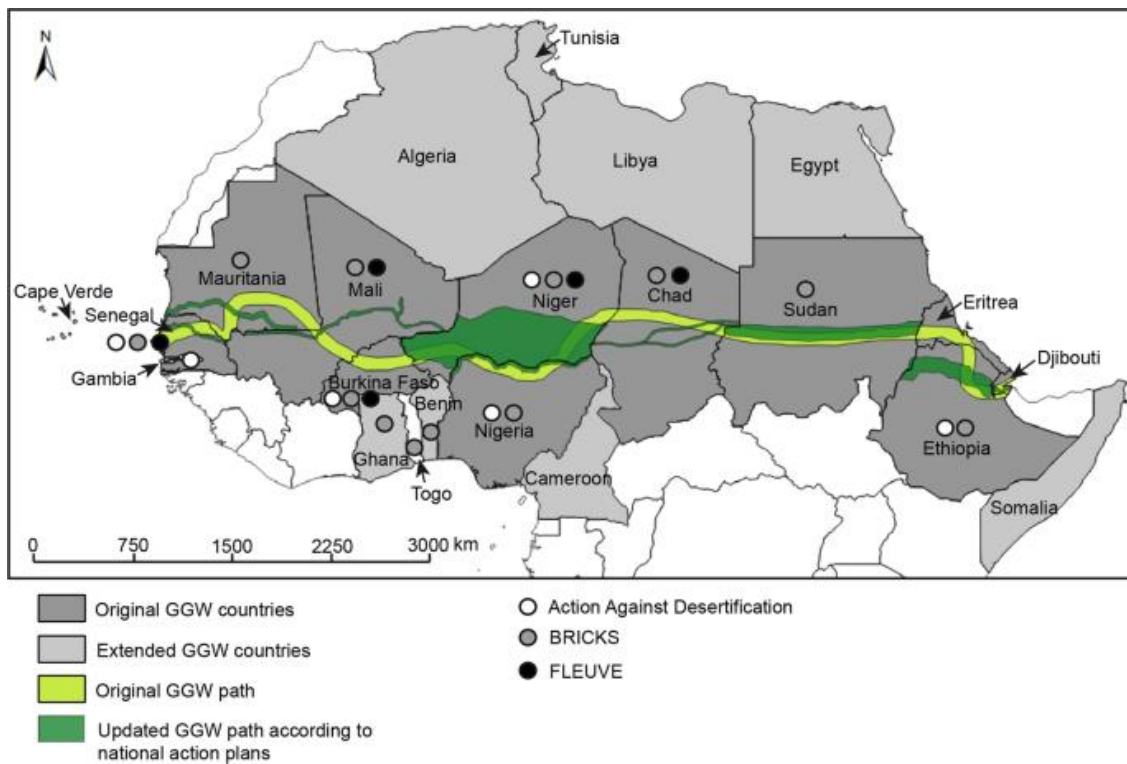


Figura 4. 1 Extensión de la gran muralla verde. Imagen tomada de: Goffner, et al. (2019).

4.4 Objetivos de Desarrollo Sostenible y el Sahel

En el año 2000, durante la asamblea general de la ONU, los países miembros de las Naciones Unidas acordaron que para el año 2015 serían establecidos los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). Llegando el año, los 193 países miembros firmaron y se comprometieron a adoptar la Agenda 2030. La agenda es un programa que forma parte del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y en el cual se abordan 17

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y que cuentan con 169 metas. Es un acuerdo global con una duración de 15 años donde se comprometen los países miembros a realizar las acciones necesarias para la implementación de los ODS. Estas acciones pueden ser alianzas o/y búsqueda de acciones enfocadas en las necesidades de los más pobres y vulnerables. Los ODS buscan la sostenibilidad desde los ámbitos económicos, sociales y ambientales, además de la eliminación de la pobreza, igualdad de la mujer, combate del cambio climático entre otros (UN, s.f.; PNUD, 2020). Tal es el caso de Burkina Faso donde, a través de diversas acciones y participación de actores nacionales e internacionales se está buscando el alcance del objetivo 2 de los ODS (Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible). Burkina Faso ocupó en el 2016 el lugar 185 de 188 en el índice de desarrollo humano (PMA, 2018). Es un país que presenta elevadas tasas de desempleo, su población es mayormente joven, en 2017 más de la mitad de la población tenía menos de 25 años y la tasa de alfabetización era menor al 50% de la población (PMA, 2018). Además, Burkina Faso ha sido afectado por las sequías y las variaciones climáticas lo que hace que los recursos naturales sean frágiles, de los cuales depende gran parte de la población. En 2018, el Programa Mundial de Alimentos (WFP por sus siglas en inglés) inició un plan estratégico apoyando seis puntos clave enunciados en el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social 2016-2020 y políticas sectoriales de Burkina Faso, apoyando de igual manera el Marco de Asistencia de las Naciones Unidas para el Desarrollo (MANUD) del periodo 2018-2020. El plan estratégico para Burkina Faso es un documento desarrollado por el programa mundial de alimentos en conjunto con el gobierno del país donde se describen las acciones prioritarias para reducir la pobreza, la degradación ambiental, mejora de la producción agrícola, resiliencia a las variaciones climáticas, así como reducir la desigualdad de género y la inseguridad. El plan se encuentra basado en las evaluaciones realizadas en 2017 por la iniciativa Hambre Cero y en diversas valoraciones realizadas por el WFP. El plan estratégico para Burkina Faso tendrá un costo total de \$172,776,493 dólares y se estima una duración de cinco años (2019-2023). Los principales participantes son el gobierno de Burkina Faso, donantes, sociedad civil y sector privado como Naciones Unidas para el Sahel (UNISS), Movimiento para el Fomento de la Nutrición (SUN),

Alianza de Acción para una Economía Verde y la asociación Switch Africa Green (PMA, 2018). Dentro del tema de desertificación, a través del alcance del ODS 2, el plan estratégico para Burkina Faso supone el alcance de los ODS 12, 13, 14 y 15 referentes a ecología y medio ambiente. En este sentido, el plan toma principal interés en las comunidades afectadas por perturbaciones climáticas recurrentes y establece como objetivo el disponer de medios de subsistencia más resilientes y sistemas alimentarios sostenible para el año 2023 los cuales se enuncian en la estrategia número cuatro del plan estratégico (PMA, 2018). Una de las principales causas de inseguridad alimentaria en Burkina Faso son el cambio climático además de la pobreza y las prácticas inadecuadas en la producción agrícola como la deforestación, pastoreo excesivo e incendios forestales que causan degradación del medio. Para alcanzar el objetivo 2 de los ODS, el Programa Mundial de Alimentos apoyará los planes de seguro contra riesgos meteorológicos. Este apoyo se realizará con el propósito de ayudar a los pequeños agricultores durante las crisis de carencias alimentarias más graves a través de la transferencia de costos y riesgos a mercados privados de seguros. La asistencia alimentaria a cambio de activos apoyará en el reforzamiento de los medios de subsistencia a través de la regeneración de la tierra, la gestión de recursos hídricos, mejora de instalaciones de almacenamiento y rehabilitación de carreteras (PMA, 2018).

4.5 Desafío de Bonn en el Sahel

En el año 2011, el gobierno alemán y la UICN llevaron a cabo una reunión en la ciudad de Bonn. En esta reunión se propuso el desafío de restaurar 150 millones de hectáreas de bosques degradados y deforestados para el 2020. En el año 2014, durante la Cumbre de las Naciones Unidas celebrada en Nueva York y a través de la Declaración de Nueva York sobre Bosques, se propuso extender el desafío hasta el año 2030 con el reto de restaurar 350 millones de hectáreas (IUCN, 2020). El Desafío de Bonn es un instrumento para el establecimiento de prioridades a nivel nacional. Estas prioridades pueden enfocarse en el impulso de la productividad de la tierra, mejora de la seguridad alimentaria, combate a la desertificación, conservación del medio ambiente entre otros (IUCN, 2020). En 2016, catorce países africanos firmaron la Declaración de Kigali, la cual es un compromiso de la Agencia Panafricana para acelerar las intervenciones de

restauración de tierras forestales para el apoyo del desafío Bonn (IUCN, 2016). En Burkina Faso se llevó a cabo un proyecto que comprendía la diversificación de cultivos con el propósito de mejorar la fertilidad del suelo, detener el proceso de desertificación y hacer frente a las carencias alimentarias estacionales. Los pequeños propietarios han reportado mejores producciones, además han sido capaces de enfrentar la época de sequía sin acabar sus recursos alimentarios y obteniéndolos de sus producciones (IUCN, 2016). En total, entre los 17 países africanos participantes, han contribuido a la restauración de 63.3 millones de hectáreas de áreas forestales las cuales forman parte de la promesa de restauración de 100 millones de hectáreas para el desafío Bonn (IUCN, 2016).

4.6 Conclusión

La respuesta internacional a la situación climática, económica y social se ha realizado paralelamente a los eventos que han ido ocurriendo. El nacimiento de proyectos que buscan beneficiar a las poblaciones del Sahel han cumplido su objetivo o al menos eso pareciera. Los proyectos promovidos muchas veces no cuentan con el seguimiento o la evaluación necesaria para determinar su funcionalidad o el porcentaje de beneficio hacia las comunidades. Además, es indispensable que los habitantes de la región tengan conocimiento sobre su funcionalidad para que realmente exista un beneficio. Sabemos que la intención es buena al igual que los donativos realizados por las distintas organizaciones nacionales e internacionales. También sabemos que ha pasado tiempo y que aun no se obtiene el resultado esperado: resiliencia al clima y al cambio climático, autonomía, calidad de vida, igualdad de género, seguridad alimentaria por mencionar algunos. Las agencias, los fondos, los programas no son nuevos, muchos llevan mas de 30 años en operación y a cada término de periodo establecido se agrega otro periodo más para poder alcanzar las metas establecidas, entonces ¿Qué es lo que está pasando? Existe la disponibilidad internacional para apoyar y existe la población necesitada, que recibe a bien este apoyo, la mayoría de las veces dispuesta a trabajar y aprender para mejorar su subsistencia. Es probable que el problema radique en el rápido efecto cambiante del clima, de las amenazas naturales y de la respuesta inadecuada o de la falta de acción debido a no saber que hacer. Pondré

de ejemplo a la OMM y la participación de CREW, ambas organizaciones monitorean los fenómenos naturales sobre el Sahel con el fin de emitir una alerta temprana a la situación que se avecine. Sin embargo, en 2020, se presentó una plaga de langostas (*Schistocerca gregaria*) produciendo graves pérdidas de cultivos y exacerbando las pérdidas económicas y alimentarias ya de por sí agravadas por el SARS-CoV-2. La nube de langostas había sido monitoreada a través de satélite y se conocían las pérdidas potenciales, se aplicaron las medidas de control, pero no se pudo contener. Aún cuando existió el monitoreo y se aplicó una respuesta, el daño fue causado, aunque se dice que se evitó una pérdida mayor. Este hecho nos dice, por un lado, que la tecnología de monitoreo funciona y nos hace tener una respuesta más rápida. Por otro lado, la respuesta puede no ser la adecuada o los fenómenos naturales sobrepasan nuestra capacidad de responder adecuadamente. En la misma situación se encuentran fenómenos como las precipitaciones y las sequías, podemos anticipar que sucederán, probablemente sepamos donde y cuando, pero no podemos hacer lo suficientemente necesario para evitarlo. Las pérdidas humanas, de fauna y flora tienden a ser inevitables, entonces ¿de qué manera podríamos mejorar nuestra capacidad de responder a los cambios que se avecinan? ¿Cuáles serán las nuevas metas planteadas por las Naciones Unidas y el tiempo propuesto para su cumplimiento? ¿Por cuánto tiempo más se extenderá el plazo para las metas ya planteadas?

Conclusión general

No se puede hacer referencia a la ecología del Sahel sin hablar de aspectos económicos, culturales, políticos y sociales. Un ejemplo de ello son las mesetas ferruginosas que se ubican en ciertas zonas del subsahara. Aunque ricas en hierro y fuente potencial para la adquisición de este mineral para beneficio de los habitantes y plantas, su compactación impide el establecimiento de la vegetación. Estas condiciones ambientales dificultan el desarrollo de cultivos, disminuyendo el potencial alimentario y adquisitivo de los habitantes. Si el uso de los recursos naturales se hiciera eficiente, la población podría estar preparada para los cambios estacionales y las dificultades ambientales como las sequías en la zona. En este sentido, es importante la aplicación y el desarrollo de herramientas legales que favorezcan un desarrollo mutuo entre

ambiente y persona. Las prácticas tradicionales de siembra y recolección de agua pueden ser utilizadas a favor y como manera de apropiación de la cultura y de la tierra. Creando conciencia de su beneficio, de su cuidado y de las implicaciones de su explotación y pérdida. Retornar al uso de cereales y vegetación autóctona ya adaptada a las condiciones cambiantes del clima, podría generar una mejora significativa de las cosechas y de la alimentación, disminuyendo los costos de mantenimiento y haciéndoles más resilientes al clima. La agricultura no es la única actividad económica dentro del Sahel, pero la mayor parte de la población depende de ella y supone más del 40% del PIB per cápita de la región. Es importante considerar las demás actividades como la minería, que también supondría un buen ingreso económico a las familias subsaharianas si la gobernanza de la tierra, la aplicación de leyes y la política pública fueran equitativas y adecuadas. Sabemos que la agricultura en el Sahel la mayor parte es de secano, y conocemos que existen fluctuaciones climáticas y procesos de desertificación importantes, ¿Por qué no invertir en sistemas de riego o en sistemas de captación de agua más eficientes en lugar de la compra de armas para la represión de guerrillas? Existe una cantidad equitativa de mujeres y hombres trabajando el campo, aunque muchas veces, las mujeres son la mayor parte. La presente investigación vislumbró que el empoderamiento de las mujeres ha traído resultados favorables a sus comunidades, entre ellas, resiliencia al cambio climático y desertificación. Si este empoderamiento se pudiera realizar con la mayor parte de las mujeres en la región, es muy probable que los aspectos económicos, políticos, sociales y culturales podrían cambiar. Este empoderamiento podría extenderse hacia la apropiación cultural y de la tierra, pudiendo desarrollar políticas públicas justas para la distribución de bienes y servicios adecuados para las comunidades donde empresas extranjeras extraen minerales o donde comunidades sufren los embates de las sequías.

Por otro lado, la emergencia sanitaria por SARS-CoV-2 refleja dos situaciones a nivel mundial y nivel local. La primera es la presión que los humanos estamos ejerciendo sobre los recursos naturales y la forma ineficiente e inadecuada de su uso. La segunda situación congrega la globalización, la falta de resiliencia a las variaciones climáticas y la fragilidad económica, estos tres factores se entrelazan unos con los otros. En este

escrito se describió como la colonización en la franja llevó consigo la importación de materias primas como los cereales, con ello la globalización, la pérdida de prácticas tradicionales y la pérdida de resiliencia resultando en una economía frágil. Estos aspectos, globalización, falta de resiliencia y economía frágil hacen incapaces a la población saheliana de afrontar las sequías y emergencias sanitarias de una manera mas efectiva. El cambio climático está sujeto a oscilaciones que ocurren cada miles de años pero en la actualidad se ha acelerado debido a las acciones antrópicas y que afectan la circulación oceánica, la salinidad del mar, la circulación de los vientos entre otros, potenciando los efectos de la desertificación. Se ha constatado que la ocurrencia de las enfermedades es mayor en tiempo de sequías debido a la distribución de los vectores, falta de agua, falta de higiene continua, y falta de alimento entre otros. Los cambios de temperatura y la cantidad de precipitación afectan el desplazamiento de la fauna silvestre y con ello, muchas veces, la diseminación de enfermedades. Tal es el caso de la malaria, debido al cambio climático, se ha descrito la posibilidad de un aumento en la transmisión en lugares donde ya existe y nuevos brotes donde aún no se presentan caso. Esto se debe a que el aumento de temperatura puede acelerar el ciclo del parásito, así como su desarrollo y aumentar la carga de enfermedad. Lo mismo puede ocurrir con el virus del ébola, surgido en África en 1976 y que puso en alerta internacional una posible pandemia en 2014. El aumento de la temperatura puede hacer que el virus se propague de manera más rápida y a sitios donde no han existido brotes. Especialistas han calculado un aumento de 14.7% en la expansión de la enfermedad causado por el incremento de temperatura, lo que podría agravar la situación en el Sahel. Por otro lado, el incremento de temperatura y la desecación de fuentes hídricas puede ocasionar el desplazamiento de la fauna silvestre convergiendo con la migración humana en búsqueda de sitios aptos para la subsistencia. Si las sequías causan un aumento de enfermedades y muerte en el Sahel, ¿Por qué no extrapolarlo a nivel mundial? Podríamos observar que las variaciones climáticas, cada vez más severas, ocasionarán sequías más graves, hambruna, déficit alimentario, guerras, aceleran el proceso de desertificación; todo por la falta de agua. ¿Qué podemos esperar cuando la mayor parte del globo se encuentre en un proceso de

desertificación? Sabemos que se avecinan condiciones climáticas severas, ¿Qué tan preparados estamos?

Las iniciativas públicas y privadas, nacionales y extranjeras han centrado sus esfuerzos en contener el proceso de desertificación en el Sahel como en otras partes del mundo. Las prácticas aplicadas en regiones subsaharianas han mostrado recuperación de suelos, crecimiento de la cubierta vegetal, retención de agua y de dunas entre otros. Podríamos aprender de las enseñanzas adquiridas para la mejora de las técnicas y la actualización del conocimiento y aplicarlo a lo largo de la franja en situaciones similares. La extensión de la cubierta vegetal podría mejorar aspectos ecológicos como cambios micro ambientales, creación de refugios, incremento de poblaciones de fauna silvestre. Socioeconómicos incrementando los ingresos de los habitantes, reforzando la alimentación familiar, disminuyendo los riesgos de epidemias, entre otros. La participación de los actores internacionales apoyando en especie y monetariamente, en conjunto con la participación de los habitantes, ha cambiado las condiciones de vida de las poblaciones participantes. Es necesario establecer proyectos de largo plazo con metas a corto y mediano plazo con el fin de dar continuidad y un periodo prolongado para su desarrollo. Con ello se podría observar la recuperación de suelos, aprender de los desastres y mejorar las técnicas dotando de tiempo y acciones adecuadas para el éxito de la restauración ecológica.

Recomendaciones

Siendo breve, las recomendaciones que a continuación se mencionan se dirigen a la mejora de la calidad de vida de las comunidades del Sahel y hacia una revisión de las políticas públicas enfocadas a disminuir los efectos y procesos de la desertificación.

A nivel local, retomar las prácticas tradicionales podría generar un sentimiento de apropiación de la tierra, cuidado del ambiente, empoderando a las tribus haciéndolas resilientes a los cambios climáticos, principalmente a las sequías. El empoderamiento de las mujeres y de los grupos considerados más vulnerables, podría mejorar las técnicas de las prácticas aplicadas. Como se ha visto en el escrito, el apoyo de las

iniciativas privadas y públicas, nacionales e internacionales han dado resultados adecuados para aminorar el proceso de desertificación y sus consecuencias en las poblaciones sahelianas. Se recomienda el desarrollo de proyectos enfocados a la apropiación cultural, empoderamiento de grupos vulnerables y retomar prácticas tradicionales de recolección de agua y siembra. Lo anterior con el propósito de generar mayor interés de las comunidades, asegurar su aceptación, su puesta en acción, y afianzar su continuidad. La mayor problemática a la que se enfrenta un proyecto de restauración es una falta de planeación y el establecimiento de metas no alcanzables. Es indispensable contar con un plan de monitoreo para dar seguimiento y evaluar los cambios en el ecosistema una vez aplicado el proyecto. Las iniciativas deben considerar la escala de tiempo para la aplicación de los trabajos de restauración siendo estos en un corto, mediano y largo plazo. La escala a corto plazo ayuda a evaluar los cambios en el entorno inmediatamente después de iniciar el proyecto. El monitoreo de mediano plazo nos permite conocer si los trabajos realizados se dirigen hacia las metas esperadas y nos permite hacer cambios en cualquier momento que se requiera. El monitoreo a largo plazo nos permite evaluar si la restauración fue alcanzada. Es importante que se establezcan metas alcanzables, medibles, repetibles y en función de la financiación disponible, ya que de ello también depende el éxito de la restauración. Si las iniciativas consideran todos estos aspectos, podríamos hacer que las comunidades sahelianas sean resilientes al clima. Es importante mencionar que, si se alcanza la resiliencia climática de las poblaciones minoritarias, este conocimiento podría extenderse hasta alcanzar la mayor parte de la población disminuyendo los efectos de la desertificación como la hambruna y muertes.

Hablando del nivel gobierno se presentan grandes obstáculos, pero esto no representa una limitación para poder alcanzar resiliencia climática y aminoración del proceso de desertificación. Si se centraran los esfuerzos en la aplicación y generación de herramientas legales que permitiera el cuidado ambiental y el desarrollo humano con una buena distribución de bienes y servicios, podría cambiar sustancialmente la fragilidad de las comunidades sahelianas a las sequías. El pago justo de las labores agrícolas, seguridad social, prestaciones, protección a los trabajadores y obligaciones a

las empresas sobre el trato y pago justo, también podría jugar un papel importante, aunque indirecto, en la resiliencia de las poblaciones subsaharianas. Lo anterior ya que tendrían el capital monetario para compra de semillas, fertilizantes y/o herramientas para la siembra y recolección de agua, mejorando su calidad de vida y su afronte a las sequías.

Las variaciones del clima derivado de las actividades humanas y posiblemente de los ciclos naturales a los que se encuentra sujeto el planeta han ocasionado alteraciones importantes en los ecosistemas. Es posible que no podamos contener el cambio que producen los ciclos, pero ¿podemos aprender a ser resilientes? ¿podremos aminorar o mitigar los cambios que se generan durante los ciclos? ¿podemos adaptarnos a esos cambios? La respuesta puede ser tan sencilla como complicada. Podríamos pensar en crear conciencia sobre nuestra existencia y su interrelación con el medio natural y los cambios climáticos que se producen cada cierto tiempo. El estar conscientes nos haría reflexionar sobre nuestra interdependencia al ambiente y sobre como repercuten los cambios, ya sea de manera directa o indirecta, en nuestros modos de vida. Conocer los cambios y el momento en que podrían ocurrir nos daría la sensación de control sobre lo que se avecina y actuar a favor de nuestro bienestar, como un tipo de adaptación programada. Sin embargo, es un largo camino que recorrer entre políticas públicas, vicios socioeconómicos, factores culturales, tecnológicos, ideológicos, entre otros, para alcanzar una adaptación, resiliencia y mitigación global a los cambios ambientales.

Si quieres empoderar al pueblo entonces hazlos dueños de lo que les pertenece

Gloria Álvarez, 2021

A LAS GENERACIONES FUTURAS

En las próximas décadas, los glaciares mexicanos desaparecerán irremediablemente.

Esta placa es para dejar constancia que sabíamos lo que estaba sucediendo y lo que era necesario hacer.

Solo ustedes sabrán si lo hicimos.

Modificado de: Placa en memoria de Ayoloco, UNAM (2021)

Bibliografía

ACNUR. 2016. 10 consecuencias de la guerra de Vietnam. Disponible en: <https://eacnur.org/blog/10-consecuencias-de-la-guerra-de-vietnam/>

ACNUR. 2020a. La trata de niñas y niños en Mali se incrementa por el conflicto y la COVID-19. Agencia de la ONU para los Refugiados. Disponible en: <https://www.acnur.org/noticias/press/2020/12/5fc696704/la-trata-de-ninas-y-ninos-en-mali-se-incrementa-por-el-conflicto-y-la-covid.html>

ACNUR. 2020b. Un triste hito: la violencia en el Sahel ha provocado el desplazamiento de 2 millones de personas dentro de sus propios países. Disponible en: <https://www.acnur.org/noticias/briefing/2021/1/600cf3214/un-triste-hito-la-violencia-en-el-sahel-ha-provocado-el-desplazamiento.html>

Adamou, R.; Ibrahim, B.; Bonkaney, A. L.; Seyni, A. A.; Idrissa, M.; Bellos, N. 2021. Niger-Land, climate, energy, agriculture and development. A study in the Sudano-Sahel initiative for regional development, jobs, and food security. Documento de trabajo 200. ZEF. Disponible en: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3769119

Ahmed, S. 2018. La viabilidad del Estado de Mali: condicionantes del escenario regional del Sahel. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/49507/1/T40353.pdf>

Arene. 2009. Une réserve d'eau pour la boisson pendant la saison sèche. Les réservoirs en ferro-ciment -Sénégal. Etude Arene. Expertise et ressources pou un développement durable. Disponible en: http://www.voilessansfrontieres.org/wordpress/wp-content/uploads/2013/07/ARENE_Recuperation_eau_de_pluie_extrait.pdf

Avilés, P. E.; Milla, F.; Duarte, E.; Torrealba, J. A. 2016. Alineación de los contenidos del actual PANCD con la estrategia decenal de la convención (CNUCLD), la iniciativa de degradación neutral de la tierra y los objetivos del desarrollo sostenible. Santiago de Chile.

Ballesteros, M. A. s.f. Análisis geopolítico del Sahel. Capítulo primero.

Banco Mundial. 2020. Indicadores. Disponible en : <https://datos.bancomundial.org/indicador>

Banco Mundial. 2020. La COVID-19 (coronavirus) hunde a la economía mundial en la peor recesión desde la segunda guerra mundial.

- Banco Mundial. 2021. Crecimiento de la población (% anual) – Burkina Faso. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.GROW?locations=BF>
- Banco Mundial. 2021. Pobreza. Mali. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/tema/pobreza?locations=ML>
- Bartra, A. 1979. El panorama agrario en los 70. *Investigación económica* 38(150): 179-235
- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu y J.P. Palutikof, Eds., 2008. *El Cambio Climático y el Agua*. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 224 págs.
- Bayen, P. ; Traoré, S. ; Bognounou, F. ; Kaiser, D. ; Thiombiano, A. 2012. Effet du zaï amélioré sur la productivité du sorgho en zone sahéenne. [*VertigO*] *La revue électronique en sciences de l'environnement*, 11 (3).
- Benjaminsen, T. 2016. Does Climate Change Lead to Conflicts in the Sahel?. Chapter 4. The End of Desertification?. Springer Earth System Science, pp. 99-116.
- Bergoeing, J. P. 2009. Cambios climáticos y causas que los originan. *Rev. Reflexiones* 88(2), pp 55-62. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/729/72917900005.pdf>
- Berrahmouni, N.; Regato, P.; Parfondry, M. 2015. Global guidelines for the restoration of degraded forests and landscapes in drylands. FAO. Documentos de silvicultura 175.
- Berrahmouni, N.; Regato, P.; Parfondry, M. 2017. Directrices mundiales para la restauración de bosques y paisajes degradados en las tierras secas: fortalecer la resiliencia y mejorar los medios de subsistencia. Lucha contra el avance de la arena en Mauritania. Estudio FAO Montes n° 175, Roma, FAO, pp 99-101.
- Biasutti, M. 2019. Rainfall trends in the African Sahel: Characteristics, processes, and causes. *WIREs Clim Change*, pp 1-22. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/wcc.591>
- Blanco, M. 1991. Espacio y poder en la franja sahel-sudanesa africana. *Luraide* 14, pp 337-366.
- Bouri, S. ; Dhía, H. B. 2010. A thirty-year artificial recharge experiment in a coastal aquifer in an arid zone: The Teboulba aquifer system (Tunisian Sahel). *C. R. Geoscience* 324, pp 60-74.
- Bustos, C.; Chacón, G. B. 2009. El desarrollo sostenible y la agenda 21. *Telos*, 11(2), 164-181. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/993/99312517003.pdf>

- Calduch, R. 2013. Impacto estratégico de la crisis del Sahel. Capítulo tercero. Pp. 115-138. Disponible en: <https://repositorio.ucjc.edu/bitstream/handle/20.500.12020/611/Impacto%20estrat%c3%a9gico%20de%20la%20crisis%20en%20el%20Sahel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castañeda, I. S.; Mulitza, S.; SchefuB, E.; Lopes dos Santos, R. A.; Damsté, J. S.; Schouten, S. 2009. Wet phases in the Sahara/Sahel region and human migration patterns in North Africa. PNAS, vol. 106, No. 48, pp 20159-20163.
- Chappell, A.; Agnew, C. T. 2004. Modelling climate change in west African Sahel rainfall (1931-1990) as an artifact of changing station locations. International Journal of Climatology. Vol. 24, pp 547-554.
- Cheng, L.; Abraham, J.; Zhu, J.; Trenberth, K. E.; Fasullo, J.; Boyer, T.; Locarnini, R.; Zhang, B.; Yu, F.; Wan, L.; Chen, X.; Song, X.; Liu, Y.; Mann, M. E. 2020. Record-setting ocean warmth continued in 2019. Advances in atmospheric sciences, 37, 137-142. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00376-020-9283-7.pdf>
- Cherlet, M.; Hutchinson, C.; Reynolds, J.; Hill, J.; Sommer, S.; Von Maltitz, G. 2018. World Atlas of Desertification. Publication office of the European Union, Luxembourg.
- Chonchol, J. 2003. La reforma agraria en América Latina. Consejo latinoamericano de ciencias sociales. PLURAL, pp 205-222
- Conedera, M.; Bomio-Pacciorini, N.; Bomio-Pacciorini, P.; Sciacca, S.; Grandi, L.; Boureima, A.; Vettraino, A. 2010. Reconstitution des écosystèmes dégradés sahéliens. Bois et forêts des tropiques. No. 304(2) pp 61-71.
- Courel, M.; Kandel, R.; Rasool, S. 1984. Surface albedo and the Sahel drought. Nature. Vol. 307, pp. 528-531.
- Criado, C. 2008. El Sahara y los cambios climáticos. BILE, No. 66-67, pp 103-114.
- CSU. 2021. Forecast for 2021 hurricane activity. Tropical Weather and Climate Research. Disponible en: <https://tropical.colostate.edu/forecasting.html>
- Dapola, C. 2008. Impact des techniques de conservation des eaux et des sols sur le rendement du sorgho au centre-nord du Burkina Faso. Les Cahiers s'outre-mer. Revue de géographie de Bordeaux. No. 241-242, pp. 99-110.
- Dartagnan, A. y Díaz, A. 2017. El proceso de desertificación en África: Causas, consecuencias y actores influyentes en el Sahel. Trabajo final de Máster. Máster en Relaciones Internacionales y Gobernanza Turística Mundial.

- De Graaff, J. ; Stroosnijder, L. 1994. L'évaluation économique des mesures de ces au Sahel. 11^{ème} Journées du réseau érosion. L'environnement humain de l'érosion, Paris, pp 254-265.
- Delworth, T. L.; Mann, M. E. 2000. Observed and simulated multidecadal variability in the northern hemisphere. *Climate Dynamics*, 16, pp 661-676.
- EFC Symposium. 2004. What is dangerous climate change? Key vulnerable regions climate change and article 2 or the UNFCCC.
- Enriquez-Sarano, F. 2000. Les habitants du Sahel face à la déforestation. Activités quotidiennes et lutte des femmes. *Autres repères, autres paysages. Courrier de l'environnement de l'INRA*. No. 41, pp 91-96
- Estrada, F.; Perron, P.; Martínez-López, B. 2013. Statistically derived contributions of diverse human influences to twentieth-century temperature changes. *Nature Geoscience*.
- Falcón, V. 2014. Aplicaciones didácticas con sistemas de información geográfica. Una aproximación al clima y el paisaje resultante en el continente africano. *Revista Geográfica Digital. UNNE*. Año 11, No. 21
- FAO. 2009. Los impactos del cambio climático en la sanidad forestal. Disponible en: <http://www.fao.org/3/k3837s/k3837s.pdf>
- FAO. 2019. La ciencia combate a desertificación en el Sahel. Disponible en: <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1179862/>
- FAO. 2020. Portal de Suelos de la FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/#:~:text=Una%20tierra%20f%C3%A9rtil%20expuesta%20por,prestar%20servicios%20para%20sus%20beneficiarios.>
- FAOb. 2020. Gobiernos sahelianos y de África occidental, inmunes a las sorpresas gracias al seguimiento estacional. Disponible en: <http://www.fao.org/in-action/sahelian-and-west-african-governments-avoid-surprises-thanks-to-seasonal-monitoring/es/>
- FIDA, 2020. Niger: Programme de développement de l'agriculture familiale dans la région de Diffa. Rapport partiel de supervision. Disponible en: <https://www.agtalks.org/documents/38711644/40046455/Niger%202000001810%20ProDAF-Diffa%20Supervision%20Report%20August%202020/4c703d9e-f73f-5eaf-2eb9-2ea2e3d6405f>

- FIDA. 2016. République du Mali. Nota de estrategia de país. Reporte principal y apéndices. Disponible en: https://www.ifad.org/documents/38711624/40089510/Note%20de%20Strategie%20de%20Pays_2/2eaad901-205d-4fad-9d52-2f0c02ceb0dc
- FIDA. 2021. Malí. Disponible en: <https://www.ifad.org/es/web/operations/country/id/mali>
- Foro nuclear. 2019. Energía nuclear en el mundo. Foro de la industria nuclear española. Disponible en: <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/energia-nuclear-en-el-mundo/>
- Funk, C.; Eilerts, G.; Verdin, J.; Rowland, J.; Marshall, M. 2011. A climate trend analysis of Sudan. USGS Y USAID. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/259841875_A_Climate_Trend_Analysis_of_Sudan
- Gandía, S. y Meliá, J. 1993. La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Climatología y desertificación. Valencia: Universidad de Valencia.
- GOB. S.f. Convención de lucha contra la desertificación (UNCCD). Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/convencion-de-lucha-contra-la-desertificacion-unccd>
- Goffner, D.; Sinare, H.; Gordon, L. J. 2019. The great green wall for the Sahara and the Sahel initiative as an opportunity to enhance resilience in Sahelian landscapes and livelihoods. *Regional Environmental Change* 19, pp 1417-1428. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10113-019-01481-z.pdf>
- Gómez de Mercado, F. J. 2018. Causas de las crisis alimentarias en Somalia, Sudán y Etiopía entre 1980 y 2015. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/49821/1/T40504.pdf>
- Gómez, T. 2009. La conciencia ecológica y su presencia en la conciencia jurídica-política. *Utopía y praxis latinoamericana*, 14(44) pp 9-24. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-52162009000100002
- Gómez-Oliver, L. 2008. La crisis alimentaria mundial y su incidencia en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*. Vol 6, Núm 8, pp 115-141.
- Gonzalez, P., 2001. Desertification and a shift of forest species in the West African Sahel. *Clim. Res.*, 17, 217–228
- Gordo, O. 2015. Impactos del cambio climático en la migración de las aves ibéricas. En: *Los bosques tropicales y la biodiversidad frente al cambio climático: Impactos, vulnerabilidad y adaptación en España*. Ministerio de agricultura, alimentación y

medio ambiente, Madrid. Disponible en:

https://www.upo.es/export/portal/com/bin/portal/upo/profesores/jclinca/books/1450811497284_bosques-biodiversidad-frente-al-cc.pdf

Gorse, J. s.f. La desertificación en la zona sudanosaheliana del África occidental. FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/3/R5265S/r5265s02.htm>.

Granados-Sánchez, D.; Hernández-García, M. A.; Vázquez-Alarcón, A.; Ruíz-Puga, P. 2013. Los procesos de desertificación y las regiones áridas. Revista Chapingo Vol 19, No. 1, pp 45-66.

Grimaldo, C. 2013. Sostenibilidad o eficiencia. La multiescalaridad en conflictos por la extracción e industrialización del uranio. Maestría en estudios sobre la región.

Grouzis, M. ; Maldague, M. ; Skouri, M. ; Toure, I. A. 1989. Elements de strategie pour le developpement agro-sylvo-pastoral au Sahel. Formation en aménagement pastoral integre au Sahel. PNUD, UNSO, UNESCO, CILSS, UNSAH, EISMV, ENCR.

Hien, E. ; Kabore, W. T. ; Masse, D. ; Dugue. 2012. Apports organiques et pratiques de conservation de l'eau comme clés de la restauration de la productivité des sols dégradés dans la zone semi-aride du Burkina Faso.

IDEAM-UNAL. 2018. Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia, Bogotá, D. C.

IEEE. 2017. Seguridad y desarrollo sostenible en el Sahel: un enfoque regional. Documento de trabajo 01/2017. Instituto Español de Estudios Estratégicos (IEEE) en colaboración con el Instituto Militar de Documentación, Evaluación y Prospectiva de Argelia (IMDEP).

IEEE. 2020. Cambio Climático e inestabilidad en el Sahel. Documento de investigación 03/2020. Instituto Español de Estudios Estratégicos (IEEE).

IFADa, s.f. Nuestra historia. Disponible en : <https://www.ifad.org/es/history>

IFADb, s.f. Cercano oriente, África del norte, Europa y Asia central. Disponible en: <https://www.ifad.org/es/web/operations/regions/nen>

IFADc, s.f. Níger. Disponible en: <https://www.ifad.org/es/web/operations/country/id/niger>

IFADd, s.f. Programa de desarrollo de la agricultura familiar en la región de Diffa. Disponible en: <https://www.ifad.org/es/web/operations/project/id/2000001810>

- Iglesias, I. 2010. Interacción océano-atmósfera: Influencia de las SST y de la circulación termohalina. Tesis doctoral. Universidad de Vigo. Disponible en: https://ephyslab.uvigo.es/wp-content/uploads/2019/06/tesis_isabel.pdf
- Inzunza, J. s.f. Circulación de la atmósfera. Metodología descriptiva. Universidad de Concepción. Pp 225-260. Disponible en: <http://www.dgf.uchile.cl/rene/PUBS/OTHERS/cap8.pdf>
- IPS. 2020. El Sahel, un microcosmos con una cascada de riesgos de impacto global. Disponible en: <http://www.ipsnoticias.net/2020/10/sahel-microcosmos-una-cascada-riesgos-impacto-global/>
- IUCN. 2016. Africa and the Bonn Challenge: A demonstration of leadership. ForestBrief No. 13, pp 1-4. Disponible en: https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/20161007_iucn-forest-brief-no-13_web.pdf
- IUCN. 2020. El desafío de Bonn. Disponible en: <https://www.iucn.org/es/tema/bosques/el-desafio-de-bonn>
- Jáuregui, E. 2003. Algunos conceptos modernos sobre la circulación general de la atmósfera. Investigaciones geográficas. Boletín del instituto de Geografía, UNAM 2(50), pp 121-143.
- Jensen, A. M. y Hajej, M. S. 2001. La route de l'espoir : la lutte contre les dunes mobiles en Mauritanie. Unasyuva 207, Vol. 52, pp 31-36
- Julivert, M. 2003. El Sahara: Tierras, pueblos y culturas. Publicaciones de la Universidad de Valencia.
- Kabunda. M. s.f. El infarto ecológico en África: depredación, conspiraciones geográficas y económicas. África América latina. Cuadernos (SODEPAZ) No. 45.
- Kenneth, F. 1985. Sequía, variación climática y desertificación. Organización Meteorológica Mundial. No. 653, pp 1-35.
- Kent, D. V.; Olsen, P. E.; Rasmussen, C.; Lepre, C.; Mundil, R.; Irmis, R. B.; Gehrels, G. E.; Giesler, D.; Geissman, J. W.; Parker, W. G. 2018. Empirical evidence for stability of the 405-kiloyear Jupiter-Venus eccentricity cycle over hundreds of millions of years. PNAS, vol 115, No. 24, pp 6153-6158.
- Kribeche, H. 2014. Evaluación de la efectividad de las acciones de restauración ecológica en la recuperación de procesos funcionales de ecosistemas mediterráneos sometidos a perturbación. Tesis doctoral en la Universidad de Alicante, España, 336 pp.

- Lapointer, F.; Bradley, R. S.; Francus, P.; Balascio, N. L.; Abbott, M. B.; Stoner, J. S.; St-Onge, G.; De Coninck, A.; Labarre, T. 2020. Annually resolved Atlantic sea surface temperature variability over the past 2,900 y. *PNAS* 117(44): 27171-27178.
- Laveissière, C. 1976. Répartition des glossines en Haute-Volta : effets de la grande sécheresse de 1972-1973. *Ent. Méd. Et Parasitol.*, vol. XIV, No. 4. Pp 293-299
- Le Houérou, H. 1996. Climate change, drought and desertification. *Journal of Arid Environments* 34 : 133-185.
- López-Franco, Y. L.; Goycoolea, F. M.; Valdez, M. A.; Calderón de la Barca, A. M. 2006. Goma de mezquite: una alternativa de uso industrial. *Interciencia*, 31(3), 183-189. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000300007&lng=es&tlng=es
- Malavé, H. 1982. La crisis petrolera internacional y su incidencia en América latina. *Comercio exterior* vol. 32, no. 8, pp 864-875
- Manzo, L.; Zaman, M.; Ozer, P.; Paul, R.; Mahamane, A. 2013. La barrière mécanique anti-érosive influence la colonisation des dunes par les espèces végétales. *Tropicultura*, 31 (4) pp 260-271.
- Manzo, L.; Campanella, O.; Paul, R. 2009. Sélection d'espèces ligneuses adaptées à la fixation biologique de dunes au Niger. *Geo-Eco-Trop.*, 33, pp 99-106.
- Mariñas, O. 1977. Primera conferencia Mundial sobre desertificación (Nairobi, agosto-septiembre de 1977).
- Martín, F.; Elizaga, F.; Carretero, O.; San Ambrosio, I. 2007. Diagnóstico y predicción de la convección profunda. Nota técnica STAP 35. Instituto Nacional de Meteorología. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/217346667.pdf>
- Martínez, M.; Lorenzo, E.; Álvarez, A. 2017. Los ciclos Milankovitch: Origen, reconocimiento, aplicaciones en cicloestratigrafía y el estudio de sistemas petroleros. *Revista científica y tecnológica UPSE*, vol 4 No. 3, pp 56-65.
- Martínez, N. 2014. Impacto de variaciones climáticas de origen astronómico en las condiciones ambientales de medios marinos profundos a partir del análisis geoquímico en el eoceno de Sopelana (Bizkaia). Trabajo de fin de máster. Universidad de Cantabria. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/5943/Narrea%20Martinez%20Braceras.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Meincke, J.; Quadfasel, D.; Berger, W. H.; Brander, K.; Dickson, R. R.; Haugan, P. M.; Latif, M.; Marotzke, J.; Marshall, J.; Minster, J. F.; Pätzold, J.; Parilla, G.; de Ruijter,

W.; Schott, F. 2003. Variability of the thermohaline circulation (THC). *Marine science frontiers for Europe*, pp 39-60.

Mijares, T. s.f. El papel de la sociedad civil en el cambio climático: La visión social. Pp 261-265. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/508/papel.pdf>

Molnar, P.; Rajagopalan, B. 2020. Mid-Holocene Sahara-Sahel precipitation from the vantage of present-day climate. *Geophysical Research Letters*, 47.

Moncada, M. 2018. La Gran Muralla Verde africana que protegerá el Sahel de la desertificación. *Revista Nat Geo*. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2018/06/la-gran-muralla-verde-africana-que-protegera-el-sahel-de-la-desertificacion>

Morales, A. 2011. Aproximación occidental y africana al problema del Sahel. Documento de opinión 26/2011. Instituto Español de Estudios Estratégicos.

Ndiaye, A.; Iñiguez de Heredia, M. 2019. Empoderamiento de las mujeres en zonas de conflicto: enfoque en el Sahel. Documento de trabajo Opex No. 101/2019.

Nicholson, S., 2005: On the question of the “recovery” of the rains in the West African Sahel. *J. Arid Environ.*, 63, 615–641.

NOAA. 2020. Microwave sounding unit temperature anomalies. Disponible en: <https://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/msu/>

Norton, C. C., Mosher, F. R., & Hinton, B. (1979). An Investigation of Surface Albedo Variations During the Recent Sahel Drought. *Journal of Applied Meteorology*, 18(10).

Nouaceur, Z.; Murarescu, O. 2020. Rainfall variability and tren análisis of rainfall in west Africa (Senegal, Mauritania, Burkina Faso). *Water* 12, 1754, pp 1-18. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/6/1754>

Nso, S. 2007. Sequía, inmigración y políticas locales: el Sahel en la encrucijada del desarrollo. *UNISCI Discussion Papers*, No. 15, pp. 173-190.

O'Connor, J. 2003. Desarrollo desigual y combinado y crisis ecológica. *Ambiente y Sociedade* – Vol. VII, No. 2 jul/diez.

OMM. 2001. Tiempo, clima y seguridad alimentaria. Ginebra. Disponible en: https://www.uncclern.org/wp-content/uploads/library/wmo124_spn_0.pdf

- OMM. 2016. Status of the global observing system for climate. Bulletin Vol. 65(1). Disponible en : <https://public.wmo.int/es/resources/bulletin/estado-del-sistema-mundial-de-observacion-del-clima>
- OMM. 2017. La mejora de los sistemas de alerta temprana permite proteger a los más vulnerables. Disponible en: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/la-mejora-de-los-sistemas-de-alerta-temprana-permite-proteger-los-mas-vulnerables>
- OMM. 2019. Historia de la Organización Meteorológica Internacional. Disponible en: <https://public.wmo.int/es/acerca-de-la-omm/quienes-somos/historia-de-la-organizacion-meteorologica-internacional>
- OMS, 2019. El informe mundial sobre el paludismo 2019. Disponible en: <https://www.who.int/malaria/media/world-malaria-report-2019/es/>
- ONU news. 2018. Las mujeres pagan el precio de la guerra en el Sahel, pero no cuentan para los dividendos de la paz. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2018/07/1437561>
- ONU y WWAP. 2003. 1er informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Agua para todos, agua para la vida. UNESCO y Berghahn Books. Capítulo 20: Cuenca del río Senegal, Guinea, Malí, Mauritania, Senegal, pp 447-461
- ONU. 2020. Ordenación de los ecosistemas frágiles: lucha contra la desertificación y la sequía. Programa 21: Capítulo 12. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. División de Desarrollo Sostenible. Disponible en: <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter12.htm>
- Oxfam. 2010. Hambruna en el Sahel: ¿una emergencia permanente? Garantizar que la próxima sequía no provoque otra crisis humanitaria. Nota informativa, pp 1-19.
- Oxfam. 2011. Cambio climático y mujeres agricultoras de Burkina Faso. Impacto, políticas y prácticas de adaptación. Informe de Investigación de Oxfam. Disponible en: https://oi-files-d8-prod.s3.eu-west-2.amazonaws.com/s3fs-public/file_attachments/rr-climate-change-women-farmers-burkina-130711-es_3.pdf
- Ozer, A. y Ozer, P. 2005. Désertification au Sahel: crise climatique ou anthropique? Bulletin de Séances Académiques R. Sci. Outre-Mer. 51 (2005-4) : 395-423.
- Ozer, P.; Hountondji, Y.-C.; Niang, A.; Karimoune, S.; Laminou, O.; Salmon, M. 2010. Désertification au Sahel : Historique et Perspectives. BSGLg, 54, pp. 69-84.

- Pabón, J. D.; Montealegre, J. E. 2017. Los fenómenos de El Niño y de La Niña, su efecto climático e impacto socioeconómico. Bogotá: Academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales. Disponible en: <https://repositorio.accefyn.org.co/bitstream/001/113/1/Fenomeno%20del%20ni%C3%B1o%20y%20la%20ni%C3%B1a%20WEB.pdf>
- Palomares, M. s.f. Breve Historia de la Meteorología. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España.
- Pérez, J. M. 2015. Operación Serval: El estilo francés de hacer la guerra. Revista ejército 891: 42-49.
- Pierre, J. 2005. Caracterización geográfica del Níger: Región del África sub-sahariana. Reflexiones, vol. 84, No. 2, pp. 79-89.
- Planel, S. 2008. La chute d'in Eden éthiopien: Le Wolaitam une champagne en recomposition. Capítulo 3. Les jardins de l'Éthiopie. IRD Éditions. Disponible en: <https://books.openedition.org/irdeditions/2397?lang=es>
- PMA. 2018. Proyecto de plan estratégico para Burkina Faso (2019-2023). Junta Ejecutiva. Segundo periodo de sesiones ordinario. Disponible en: <https://docs.wfp.org/api/documents/WFP-0000098948/download/>
- PNUD. 2020. Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo. Disponible en: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Prego, E. 2019. Análisis pasado y futuro de la temperatura superficial del mar en el Atlántico Norte. Trabajo de fin de grado. Universidad de Vigo. Disponible en: https://ephyslab.uvigo.es/wp-content/uploads/2019/06/TFG_Quique.pdf
- Puig, C. 2015. Evolución temporal de la vegetación en el Sahel mediante el NDVI y su relación con la precipitación en el periodo 1983-2012. Tesis Doctoral. UPC. Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica.
- Raleigh, C. 2010. Political Marginalization, Climate Change, and Conflict in African Sahel States. International Studies Review, Vol. 12, No.1 (March 2010), pp. 69-86.
- Ramírez, J.; Ayluardo, L.; Becerra, G.; Chávez, A. 1975. La crisis de alimentos en México: Un análisis de los últimos años. Problemas del desarrollo 6(22), pp 167-185.
- Remy, G.; Albert, J-P.; Delmont, J.; Ricodde, J-H.; Volpoët, P. 1982. Environnement et maladies dans le Sahel (Afrique de l'Ouest). Un entr-deux-mondes. Cahiers d'Étude Africaines, 1982, Vol. 22, cahier 85/86, pp 47-78

- Romero, M. C. 2012. Efectos de la reducción del nivel del lago Chad sobre la seguridad regional (Nigeria, Níger, Chad, Camerún) en el periodo de 2000-2010. Monografía de grado. Facultad de relaciones internacionales. Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. Bogotá.
- Roose, E. 1989. Methodes traditionnelles de gestion de l'eau et des sols en Afrique occidentale soudano-sahelienne. Définitions, fonctionnements, limites et améliorations possibles. Communication à la 6a Réunion du Réseau Erosion, pp 98-107.
- Roose, E. ; Kabore, V. ; Guenat, C. 1994. Le zaï, une technique traditionnelle africaine de réhabilitation des terres dégradées de la région soudano.sahélienne (Burkina Faso). Congrès international sur La restauration et la réhabilitation des terres dégradées des zones arides et semi-arides.
- Rossignol-Strick, M. 1985. Mediterranean Quaternary sapropels, an immediate response of the african monsoon to variation of insolation. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 49:237-263.
- Rubio, B. 2008. De la crisis hegemónica y financiera a la crisis alimentaria. Impacto sobre el campo mexicano. Nueva Época Vol. 21, No. 57, pp 35-52
- Sacande, M.; Berrahmouni, N.; Hargreaves, S. 2015. Community participation at the heart of Africa's Great Green Wall restoration model. *Unasylva*; Rome, tomo 66, No. 245, pp 44-51.
- Sacande, M.; Parfondry, M.; Cicatiello, C. 2020. La restauración en acción contra la desertificación. Manual de restauración a gran escala para apoyar la resiliencia de las comunidades rurales de la Gran Muralla Verde de África. Roma, FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ca6932es/CA6932ES.pdf>
- Sánchez, C. A. 2016. Evolución del concepto de cambio climático y su impacto en la salud pública del Perú. Perú. Revista peruana de medicina experimental y salud pública, vol 33, no. 1, 33(1) pp 128-138.
- Sánchez, E. 2017. Un caso de estudio: la cuenca del Nilo. Capítulo Quinto, pp 207-257.
- Sánchez, P. s.f. Los nuevos actores en el Sahel. Capítulo quinto. Pp. 183-234
- Schejtman, A. 1988. La seguridad alimentaria: tendencias e impacto de la crisis. Revista de la CEPAL. No 36, pp 141-162.
- Schlesinger, M.E. and N. Ramankutty, 1994: An oscillation in the global climate system of period 65–70 years. *Nature*, **367**, 723–726.

- SEMARANT. 2012. Informe de la situación del medio ambiente en México. Disponible en: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/03_suelos/cap3_3.html
- SER. 2004. Society for Ecological Restoration International Science, Grupo de Trabajo sobre Ciencia y Política. Principios de SER Internacional sobre restauración ecológica. SER. McDonald, T. ; Gann, G. D. ; Jonson, J. ; y Dixon, K.W. 2016. International standards for the practice of ecological restoration – including principles and key concepts. Society for Ecological Restoration, Washington, D.C.
- SER. 2016. Society for Ecological Restoration International Science, Grupo de Trabajo sobre Ciencia y Política. Principios de SER Internacional sobre restauración ecológica. SER. McDonald, T. ; Gann, G. D. ; Jonson, J. ; y Dixon, K.W. International standards for the practice of ecological restoration – including principles and key concepts. Society for Ecological Restoration, Washington, D.C.
- Shinoda, M. 1990a. Long-Term sahelian drought from the late 1960's to the mid-1980's and its relation to the atmospheric circulation. Journal of the meteorological society of Japan. Vol. 68, No. 5, pp. 613-623.
- Shinoda, M. 1990b. Long-Term of the tropical african rainbelt and its relation to rainfall in the Sahel and northern Kalahari. Journal of the meteorological society of Japan. Vol. 68, No. 1, pp. 19-34.
- Shmite, S. y Nin, M. 2015. África al sur del Sahara: conflictos y degradación ambiental en el Sahel. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía 24 (2): 205-219.
- Sidibé, A. 2004. Farm-level adoption of soil and water conservation techniques in northern Burkina Faso. Agricultural Water Management, 71 pp 211-224.
- Stouffer, R. J.; Yin, J.; Gregory, J. M.; Dixon, K. W.; Spelman, M. J.; Hurlin, W.; Weaver, A. J.; Eby, M.; Flato, G. M.; Hasumi, H.; Hu, A.; Jungclaus, J. H.; Kamenkovich, I. V.; Levermann, A.; Montoya, M.; Murakami, S.; Nawrath, S.; Oka, A.; Peltier, W. R.; Robitaille, D. Y.; Sokolov, A.; Vettoretti, G.; Weber, S. L. 2006. Investigating the causes of the response of the thermohaline circulation to past and future climate changes. Journal of climate, Vol. 19, pp 1365-1387.
- Taylor, C. M.; Belušić, D.; Guichard, F.; Parker, D. J.; Vischel, T.; Bock, O.; Harris, P. P.; Janicot, S.; Klein, C.; Panthou, G. 2017. Frequency of extreme Sahelian storms tripled since 1982 in satellite observations. Nature, Vol. 544, pp 475-478.
- The Fund for Peace. 2016. Fragile States index 2016. Annual Report. Disponible en: [https://issuu.com/fundforpeace/docs/fragile_states_index -
annual repor 9e8d0d6f0f5a50](https://issuu.com/fundforpeace/docs/fragile_states_index_-_annual_repor_9e8d0d6f0f5a50)

- Torres, R. 2019. Insurgencia jihadista en el Sahel: el caso de Mali. Cuaderno de política exterior argentina (Nueva Época), pp 97-101.
- Tucker, C.; Justice, C.; Prince, S. 1986. Monitoring the grasslands of the Sahel 1984-1985. International Journal of Remote Sensing, 7 :11, pp 1571-1581.
- Turner, M. 1999. Merging local and regional analyses of land-use change : The case of livestock in the Sahel. Annals of the Association of American Geographers, 89(2), pp. 191-219
- UN s.f. Objetivos de desarrollo sostenible. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- UN. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- UNCCD. 2014. La desertificación. Esa invisible línea de frente. Segunda edición. Pp 1-18. Disponible en: https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/12112014_Invisible%20frontline_S_P_0.pdf
- UNCCD. 2017. Convención de las naciones unidas para la lucha contra la desertificación. Disponible en: https://www.unccd.int/sites/default/files/relevant-links/2017-08/UNCCD_Convention_text_SPA.pdf
- UNCCD. 2020. La Grande Muraille verte: Etat de mise en oeuvre et perspectives à l'orée 2030. Versión final. Government of Ireland. Disponible en: https://catalogue.unccd.int/1551_Revised_French_Final_040920.pdf
- UNESCO. 2020. Mientras que la COVID-19 amenaza el patrimonio vivo en torno al lago Chad, las mujeres se movilizan. Disponible en: <https://es.unesco.org/news/mientras-que-covid-19-amenaza-patrimonio-vivo-torno-al-lago-chad-mujeres-se-mobilizan>
- UNICEF. 2020. Mientras la COVID-19 destruye unos sistemas de salud que ya eran frágiles, cada día podrían morir 6.000 niños menores de cinco años más si no se toman medidas urgentes. Disponible en: <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/mientras-covid19-destruye-sistemas-salud-fragiles-cada-dia-podrian-morir-6000-menores-5-anos>
- UNIDDD. 2020. Decenio de las Naciones Unidas para los desiertos y la lucha contra la desertificación.
- Vargas, O. 2011. Restauración ecológica: Biodiversidad y conservación. Acta biológica colombiana. Vol.16, No. 2, pp 221-246.

- Vargas, O.; Mora, F. 2008. La restauración ecológica. Su contexto, definiciones y dimensiones. En Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino. Bogotá, pp 19-40. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/260554923> La restauracion ecologica Su contexto definiciones y dimensiones
- Vlaar, J. C. J. 1992. Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel. Rapport d'une étude effectuée dans le cadre de la collaboration entre le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), Ouagadougou Burkina Faso, et l'Université Agronomique Wageningen (UAW), Wageningen, les Pays-Bas.
- Watts, M. 1983. Hazards and Crisis: A Political Economy of Drought and Famine in Northern Nigeria. *Antipode* 15 (1), pp 24-34
- Watts, M. 1986. Geographers among the peasants: power, politics, and practice. *Economic Geography*, 62(4): 373-386.
- WMO. 2020. Burkina Faso: Strengthening National Capacities for Early Warning System Service Delivery. Disponible en: <https://public.wmo.int/en/projects/burkina-faso-strengthening-national-capacities-early-warning-system-service-delivery>
- World Water Forum, 2000: *The Africa Water Vision for 2025: Equitable and Sustainable Use of Water for Socioeconomic Development*. World Water Forum, The Hague, 30 pp.
- WWF. 2017a. África-- Mauritania, Mali, Algeria, Niger, Chad, Sudan. Disponible en: <https://www.worldwildlife.org/ecoregions/pa1329>
- WWF. 2017b. North central Africa: Eastern Chad and small are of western Sudan. Disponible en: <https://www.worldwildlife.org/ecoregions/at1303>
- WWF. 2020. Cambio Climático y Energía. Disponible en: https://www.wwf.org.mx/que_hacemos/cambio_climatico_y_energia/
- Zougmore, R. ; Zida, Z. ; Kambou, F. 2020. Rehabilitation des sols degradés : Roles des amendements dans le succès des techniques de demi-lune et de zaï au Sahel.